

生 命

生 命

【生命】生物属性的抽象概括。物质的最高级、最复杂的运动形式。生命规律以物理化学规律为基础，但不等同于物理化学规律。生命的物质基础是原生质（主要以核酸和蛋白质组成的具有自我更新、自我繁殖和自我调节能力的多分子物质体系）。生命的基本特征有：（1）生命以原生质为基础，生物体（病毒等例外）以细胞为结构和功能的基本单位；（2）生命活动以新陈代谢（包括物质和能量代谢）为基础；（3）绝大多数生物有生长（体积增加）和发育（产生→成熟→衰老→死亡的过程）现象；（4）生命体有应激性（对刺激产生反应），能依环境的改变而调节自身，保持相对恒定和正常代谢；（5）生命体能繁殖（产生与自身相似的个体）；（6）由于遗传和变异，生命体既能相对稳定，又能不断演化；（7）生命体在结构、习性上大体适应环境，同时又影响着环境。现代生物物理学认为，生命体是一种耗散结构，从环境中取得食物形式的低熵物质和能量，并将其转化为高熵状态后排出体外，维

持了自身的有序状态。至今，生命还没有一个精确的定义。20 世纪 70 年代发现的类病毒，是只有一个核酸分子（不含蛋白质）的简单生命体。

【生物】自然界中具有生命的物体。包括原核生物、真核原生生物、植物、动物、真菌和病毒等。除病毒等不完全自律（遗传信息的表达有赖于宿主细胞）的生物外，都以细胞为结构和功能的基本单位。以核酸（遗传信息的载体）和蛋白质（在结构和功能上有重要作用的大分子）为主要物质基础。个体能进行新陈代谢（包括物质和能量代谢），在此基础上得以生长和发育。有自我调控和修复能力。能按照一定的遗传和变异规律进行繁殖，使种族得以繁衍和进化。能对刺激作出反应（应激性）。在结构、习性上与生活环境大体适应，并对环境产生影响。生物的定义和分类在科学界常有分歧。生物最初是通过化学进化过程由非生命物质发展而来，并在自然选择等规律的作用下不断进化。

【植物】生物中的一大类，归属植物界。根据生物分界的不同，植物的概念和包括的类别也不一样。如按照两界生物系统，植物是大多含有叶绿素，能进行光合作用，制造其自身所需要的有机物，并且具有细胞壁的生物。其中包括藻类、菌类、地衣、苔藓、蕨类、裸子和被子植物，共约 40 多万种；按照三界生物系统，植物是含有叶绿素，能进行光合作用，自身能制造食物的生物，其中不包括具细胞壁而不含叶绿素，进行异养（腐生、寄生）生活的菌类；按照四界、五界、六界生物系统，植物是含有叶绿素，能进行光合作用，自身能制食物的真核生物，其中不包括原核的光合自养生物，即蓝藻类等。在五界、六界生物系统中也不包括单

细胞的真核光合自养生物。根据五界、六界生物系统，植物（界）的主要特征有：光合自养；除少数低等类型外，多在一定环境条件下营定居生活，高等类型的营养器官为根、茎和叶；细胞具细胞壁；细胞具全能性等。植物在自然界物质循环中具有极其重要的作用，其光合过程可将二氧化碳、水和无机盐等合成有机物，并释放出氧气。植物及其产物和人类的经济文化生活关系极为密切，直接或间接为人类的衣、食、住、行提供物质来源，同时在环境保护、城乡绿化、水土保持和美化生活等方面都有极其重要的意义。

【动物】生物中的一大类群，归属于动物界。动物的细胞没有含纤维素的细胞壁而只有细胞膜，细胞核具核膜和染色质。绝大多数动物的营养方式为异养式，自体不含叶绿素，因此不能将无机物合成有机物质，而必须摄取其它生物为生。在构造上发展了运动器官以及为寻食、求偶有关的支配肌肉的神经系统；还有呼吸、排泄、循环等器官。高等动物除了与生俱有的本能外，还可通过学习，发展复杂的行为。动物界中，眼虫属（*Euglena*）的一些种类，虽有叶绿体，但在黑暗条件下失去叶绿素而能通过体表的渗透作用，完全利用有机物为生，表明在动植物的低等类群中，严格区分它们尚有一定困难。有的学者建议将单细胞的植物和动物合在一起，另设原生生物界（Protista）。

【微生物】具有个体微小，结构简单，多数为单细胞，少数为多细胞或无细胞结构的一大类低等生物。在分类学上分属于原核生物界、真核原生生物界、真菌界和病毒界。主要包括细菌、放线菌、螺旋体、立克次氏体、衣原体、支原体、病毒、酵母菌、霉菌、单

细胞藻类和原生动物等。通常需借助光学显微镜甚至电子显微镜才能看到。微生物种类繁多，在自然界中分布广泛，且生命代谢活动旺盛、生长繁殖速度快，易变异和具多种代谢类型，因此在现代生物学的研究中占有重要地位。同时，微生物与人类的生存密切相关，例如利用微生物生产菌肥、发酵饲料、单细胞蛋白、抗生素、疫（菌）苗、有机酸、有机溶剂、酶制剂、各种氨基酸等产品，在工业、农业、医药和其他领域都起着重要作用，另外亦有少数微生物能使人和动植物发生病害。

研 究 方 法

【描述法】对生物的形态结构、生命现象及其外部联系进行观察记录的一种生物学研究的基本方法。例如，分类工作者对某个动物或植物标本特征的记述，遗传学工作者对某次杂交结果的记载，生化工作者对某次实验结果的观察和记录等。18 世纪以后被记述的物种大量增加，分类学者搜集物种进行鉴别、描述的的方法大为发展，林奈建立了统一的命名原则——双名法和一套规范的描述术语，人们使用这些比较精确的描述方法获得了大量动、植物分类学材料和形态学解剖学的资料。

【比较法】生物学中分析各种事物之间的异同和内在联系的一种重要方法。比较法使人们对生命现象的认识比单纯的观察描述又深入了一步。例如，分类学对不同生物器官系统的比较，概括出各

级分类单位的特征。解剖学、胚胎学、生物化学和血清学中的比较研究，揭示出各类生物之间有或近或远的亲缘关系，为生物进化论提供了有力的证据。

【实验法】在人工控制条件下，观察和研究各种生命现象及其本质的一种生物学研究的重要方法。它既可提供感性材料，又可检验认识是否正确。例如，以高茎品种豌豆与矮茎品种豌豆杂交， F_1 都是高茎植株； F_1 自交， F_2 高茎植株：矮茎植株约为 3：1。设想控制高茎和矮茎的遗传因子分别是 TT 和 tt ，则 F_1 为 Tt ； F_1 自交， F_2 为 $1/4TT$ ， $2/4Tt$ ， $1/4tt$ ；由于高对矮为显性，故 F_2 高茎植株：矮茎植株约为 3：1。为验证这种设想，可使 F_1Tt 与 tt 测交。结果测交后代高茎植株：矮茎植株（即 $Tt：tt$ ）约为 1：1，从而证明上述设想正确。历史上首先是生理学、然后是细菌学和生物化学、以后是胚胎学、细胞学和遗传学都相继成为精确的实验学科，现在生物学的各个分支学科几乎都引进了实验的研究方法。由于实验常借助于精密的仪器和技术，所以显微分光光度术、层析、电泳、分级离心、冰冻蚀刻、放射性同位素示踪、电子显微镜、质谱仪、顺磁共振、核磁共振、X 线衍射技术、以及电子计算机技术等等，也相继被应用到现代生物科学的研究中。

【历史法】又称以今论古法。生物学研究中的一种方法。指根据现在在自然界或实验室内所发现的现象、过程和规律来推测过去所发生的种种生命过程。是研究生命起源和生物进化等问题的重要方法。例如，达尔文根据当时的生物学知识，研究了生物的多样性及其对环境的适应性，并总结了人工选择的经验，从而推论出了环境条件作用于生物体的随机变异，导致物种起源的自然选择

理论。又如美国学者米勒,根据现在远离太阳的行星(如木星、土星等)的大气是无游离氧(O_2)的还原性大气的事实,在实验室内模拟原始地球大气中的雷鸣闪电(在盛有 H_2 、 NH_3 、 H_2O 、 CH_4 等还原性气体的密闭玻璃器中真空放电),结果得到了多种有机物和氨基酸。由此证明在原始地球条件下,借助自然能源,从无机物合成有机物是完全可能的。这种“以今论古”的模拟实验方法的成功,就为研究生命起源问题开辟了广阔的途径。

【生物显微技术】用各种显微镜观察和辨认微小生物形态和生物精细结构的方法和技术。如植物根、茎、叶的徒手切片法,动植物组织的石蜡切片法,单细胞分裂的根尖压碎法,观察导管、管胞、筛管等的离散法,原生动物、吸虫、昆虫等的整体装片法,骨骼的磨片法,血液的涂片法,果蝇唾腺染色体的压片法等等。此外,还可利用相差显微镜观察活的生物和未染色的生物切片标本,用电子显微镜辨认细胞的超微结构,用显微操作器对细胞进行显微解剖、显微注射等。生物显微技术主要包括各种显微镜的使用方法,各种标本切片的准备制作技术,以及观察结果的记录、分析技术等。近年由于电子显微镜与电子计算机结合应用,电子图象的记录、分析技术有了较快的发展。

【放射自显影】一种细胞生物学的常用技术。它可确定放射性化合物在细胞和组织中的部位。首先用放射性化合物脉冲标记活细胞,在不同的时间取样,固定细胞和组织,把细胞或组织切片置于载玻片上,在暗处将感光乳胶或感光薄膜覆盖在细胞或组织切片上,并在暗处保持一段时间。在此时间内,由于放射性同位素衰变使感光乳胶(片)曝光,再进行显影、定影处理。通过银粒的所在

部位，便可检测出放射性化合物在细胞、组织中的分布。例如，用 ^3H -胸苷和 ^3H -尿苷标记活细胞，通过放射自显术，就可从不同时期固定的细胞中看到，DNA 前体 ^3H -胸苷先分布在细胞核中，RNA 的前体 ^3H -尿苷开始时积集在细胞核中，然后很快就积集在细胞质中。表明 DNA 在细胞核中复制，而由 DNA 转录的 RNA，很快就从细胞核移到细胞质中。

【生物统计】以数理统计的原理和方法去分析和解释生物学中的数量变化现象。生物现象一般包括确定现象与非确定现象。确定现象是在一定条件下必然发生或不可能发生的事件。例如，纯合的开红花的豌豆品种(CC)自交，只可能产生纯合开红花的植株，不可能出现开白花的植株。非确定现象是在一定条件下可能发生、也可能不发生的事件，即所谓随机事件。例如，纯种开红花豌豆(CC)与纯种开白花豌豆(cc)杂交，子一代都是开红花(Cc)的植株；子一代自交，既出现开红花植株，也出现开白花植株，似乎没有什么规律；但若对大量个体进行统计，就会发现它们的出现很有规律，即开红花植株：开白花植株 $\approx 3:1$ 。生物统计就是研究生物界中非确定现象即随机事件的一种手段。数学上的概率论是生物统计的理论基础。

【组织切片技术】利用切片机将动、植物组织器官切成薄片，加以染色，以便在显微镜下进行观察的技术。用以研究器官组织、细胞的微细结构，并可长期保存。它在医学、生物学、组织胚胎学等领域广泛应用。为了制成极薄的切片，要用支持剂使组织块具有一定硬度。因支持剂不同，分为石蜡切片、火棉胶切片、冰冻切片等。制片的主要步骤如下：(1)取材固定，用一定的化学固

定剂使组织细胞保持原有的形态结构，防止细胞溶解和腐败，也使细胞内蛋白质等成分沉淀、凝固，产生不同折射率，以便于观察，也便于染色，并起硬化作用。(2) 冲洗、脱水与透明，用水或酒精将材料中的固定液除去，以免生成结晶或影响染色。再用脱水剂（通常用不同浓度的酒精）脱去材料中的水分，使组织材料变硬，也使透明剂（如二甲苯）易于渗入。透明的目的在于使支持剂（如石蜡）渗入。(3) 透入与包埋，使支持剂浸透组织，按观察要求制成蜡块。(4) 切片与贴片，用切片机切成一定厚度的薄片，粘贴在载玻片上。(5) 染色，待切片干燥后，用适当的有机溶剂，将支持剂去掉，并根据需要，用不同染色剂染色，使不同部位显示不同颜色，产生不同折射率，以便在显微镜下能观察到不同结构。(6) 切片标本染好后，再用透明剂透明，用胶类物质（如加拿大树胶）封固。这样，切片就能长期保存。此外，还有非切片法，如洋葱表皮装片，动物疏松结缔组织铺片，无脊椎动物水螅、草履虫、昆虫的整体封藏，血液和精液的涂片，硬骨、牙齿等的磨片，以及平滑肌细胞分离封固等，不须切成薄片的各种方法，也归属这一技术。

【吸收光谱法】用以研究植物光合色素的一种方法。波长连续分布的光透过某一物质时，由于该物质有选择地吸收某些波长的光，因此在连续光谱的相应位置出现了一处或几处暗的部分，这种光谱称为吸收光谱。例如在阳光和棱镜之间放一叶绿素溶液，就可看到光谱中有两个明显的暗带（即最强的吸收区）：一个在红光部分，另一个在蓝紫光部分。在橙光、黄光、绿光部分有不明显的吸收带，其中对绿光的吸收最弱。这种通过叶绿素溶液的透过光谱，就是叶绿素的吸收光谱。以波长为横坐标，以消光值为纵坐标作图，

即得该物质的吸收光谱曲线。吸收光谱曲线定量地反映了物质在一定波长范围内的吸收光谱，习惯上常把吸收光谱曲线称为吸收光谱。在吸收光谱曲线上可看到一个或几个吸收高峰，相应吸收高峰的波长，即该物质对之有强烈吸收的波长。例如叶绿素 a 和叶绿素 b 在乙醚中的吸收光谱，都各有两个吸收高峰，叶绿素 a 在红光区为 662 纳米，在蓝紫光区为 430 纳米，叶绿素 b 为 642 纳米和 453 纳米。不同物质的吸收光谱不同，可利用吸收光谱来鉴别物质，同时吸收光谱的强弱与物质的浓度有关，故可用来做定量分析。

【放射性同位素示踪法】以放射性同位素或其标记化合物为示踪剂，引入所研究的生物对象中，利用射线探测仪器检测放射性射线所在的位置、数量和它在生物体内的行径。生物科学研究中常用放射性同位素有³H、¹⁴C、³²P、³⁵S、⁴¹K、⁴⁵Ca、⁵¹Cr、⁵⁹Fe、¹²⁵I、¹³¹I 等。放射性同位素示踪被广泛应用于生物学研究等许多领域，它是揭示生命活动规律的一种不可缺少的研究手段。放射性同位素示踪用作生物学研究手段的依据：（1）放射性同位素的化学性质和生物学行为与普通原子基本相同，生物细胞不能区别同一元素的各个同位素，而是“一视同仁”地对待它们；（2）放射性同位素与普通原子在物理性质上不同，前者会自发地放出射线，为自身标上了“记号”，可借助射线探测仪器追踪它在生物体内变化中所经历的踪迹，进一步定位、定量。放射性同位素示踪法的优点：（1）灵敏度高，可相当准确地测出 10^{-14} — 10^{-18} 克的放射性物质。（2）实验操作手续简便，往往可以不经过提取或纯化手续，即可进行测定。（3）可区分生物体中原有的分子和实验中新加入的分子。例如用含有¹⁴C 的二氧化碳供给植物进行光合作用，二氧化碳同化

过程中所产生的化合物带有放射性，而植物中原有的有机物都没有放射性，因此人们就比较方便地把它区别开来，去专门追踪放射性二氧化碳是如何一步步转变成有机物的。(4) 引入有机体的示踪剂的化学量很少，不致影响体内物质的原有平衡，能在合乎正常生理条件下进行试验。(5) 可以准确定位。例如应用放射自显影技术可准确定位至亚细胞结构水平。放射性同位素示踪法也有一定缺点与限制。由于所用示踪剂具有放射性，对有机体有一定放射性效应，实验人员需要专门培训并须注意防护；目前放射性物质来源不易，也比较昂贵；有些元素尚无适当的放射性同位素可供示踪试验用。

【免疫荧光技术】又称荧光抗体技术，是以特定荧光物质为标记物，标记已知抗体，对未知抗原进行鉴定的方法。此法利用抗原抗体反应的高度特异性，可在荧光显微镜下进行检测。常用的荧光物质有异硫氰酸荧光素（简称 FITC）和罗丹明等。常用方法有两类。(1) 直接法：荧光物质直接标记抗体以检查相应抗原，此法简单，特异性高，但灵敏度较低，且一种标记抗体只能检查一种相应抗原；(2) 间接法：通过荧光物质标记抗球蛋白抗体（即抗抗体）而检测相应抗原的方法，灵敏度高，且以一种标记抗抗体可检测多种抗原抗体系统中的相应抗原；还有用荧光色素标记补体抗体的方法，称补体法，可不受动物种属限制而进行检测，但这两种间接法均较易产生非特异性荧光。免疫荧光法可用于病原微生物的诊断，抗原抗体复合物的定位等，已广泛应用于微生物学、免疫学、生物学、临床医学等学科的研究中。

【细胞培养】在体外培养下使细胞维持生长和繁殖的技术。主要包

括动物细胞培养和植物细胞培养。动物细胞培养可分为原代培养和传代培养。原代培养是直接从有机体获取细胞进行培养，在首次传代成功后即成为细胞系。若将培养的细胞分散后，从一个容器中取出以 1 : 2 或 1 : 3 以上的比例扩大培养，即为传代培养。动物细胞培养大体上有两种方式：一种是群体培养 (mass culture) 即将大量细胞置于培养瓶中，让其贴瓶壁生长，形成均匀的单层细胞；另一种为克隆培养 (clonal culture)，即将少数的细胞放入培养瓶中，贴壁后彼此相隔距离较远，经过繁殖，每一个细胞形成一个集落，称为克隆 (clone)，一个克隆中的各个细胞来源于同一个细胞。通过克隆形成法和各种选择培养法，可从原代培养物或细胞系中，将那些具有共同特征标志的细胞群体分离出来，形成细胞株。能继续传代的细胞株称为连续性细胞株。细胞培养中，培养基的选择和配制是关键的一环。在培养过程中，细菌、真菌、病毒、支原体等都可污染培养细胞，所以操作必须在用紫外线消毒过的超净工作环境中进行（包括工作人员和使用器材的消毒）。动物细胞培养是动物细胞工程的一项基本技术，它是细胞融合、细胞拆合、染色体导入和基因转移等技术的基础。

植物细胞培养是进行作物育种的重要手段之一。未分化的单个细胞或原生质体、以及从根、苗、胚、花药、子房和胚珠等分离出来的细胞均可进行离体培养。培养的主要目的是要获得再生的植株。植物细胞培养包括悬浮培养和原生质体培养。(1) 细胞悬浮培养，指将植物细胞以及从愈伤组织、某个器官或组织或幼嫩的植株通过物理或化学的方法进行分离而获得的小的细胞聚集体悬浮在液体培养基中进行培养。其方法包括愈伤组织的诱导、继代培养、单细胞分离及悬浮培养、细胞团和愈伤组织的再形成（或胚体的形成）及植物的再生等技术。(2) 原生质体培养，指从

一个原生质体发育成一株具有根、茎、叶的完整植株而言。植物细胞脱去细胞壁后，成为原生质体。原生质体在培养中不能进行细胞分裂，但再生出细胞壁后，可持续分裂，形成细胞团或愈伤组织，进一步通过不定胚或器官形成，有可能再生出完整植株。培养方法主要为固体培养和液体培养。固体培养又称平板培养，先用原生质体培养基制备原生质体悬浮液，再和融熔的琼脂培养基在 30°C — 35°C 下混合，倒入培养皿中，并轻摇使原生质体与琼脂均匀混合，冷却后用蜡带或橡皮膏封口，置于一定光照及温度下培养，单细胞可长成小的细胞群落。液体培养是将用液体培养基制成的原生质体悬液置于培养皿或 50—100 毫升三角瓶中，保持一薄层，用蜡带或橡皮膏封口，放在弱光下静置培养，温度为 25°C — 28°C 。为避免原生质体与皿壁粘连，在培养早期，每天轻摇培养容器 1—2 次。一般原生质体在合适的条件下，培养 1—3 天即可再生出新细胞壁，此后进行持续的细胞分裂，形成愈伤组织。将愈伤组织转移到分化培养基上培养，便可分化出幼苗。

【单克隆抗体】在细胞融合技术基础上发展起来的淋巴细胞杂交瘤技术。即将骨髓瘤细胞与免疫动物的脾细胞融合，形成能分泌针对一定抗原的、均质的、高特异性的抗体——单克隆抗体 (monoclonal antibody McAb)。1975 年英国科学家米尔斯坦和科勒在细胞融合的基础上创立了淋巴细胞杂交瘤技术，在世界上第一次成功地获得了单克隆抗体。该技术的原理是根据 B 淋巴细胞能产生抗体，但不能在体外培养下繁殖，而某些骨髓瘤细胞不能产生抗体，却能在体外培养条件下无限地繁殖的特性，利用细胞融合技术将已免疫过的 B 细胞与骨髓细胞融合，在形成的单个杂种细胞中，既有 B 淋巴细胞提供的产生单一型抗体的遗传信息，

又有瘤细胞提供的连续增殖的遗传信息，所以这种杂种细胞既能产生大量单一型抗体，又能无限繁殖。

【DNA 重组体技术】在体外重新组合脱氧核糖核酸 (DNA) 分子，并使它们在适当的细胞中增殖的一种遗传操作技术。这种操作首先要获得目的基因。获得目的基因主要有 3 种方法：(1) 用特定的限制性内切酶从供体细胞的 DNA 中将所需的基因切下来，成为具有粘性末端的片段；(2) 以 mRNA 为模板，用逆转录酶合成目的基因 DNA；(3) 以单核苷酸为原料，经化学反应而合成目的基因。然后使获得的目的基因与适当的运载体结合。这种运载体既能与目的基因在体外进行 DNA 分子重组，又能把重组的 DNA 分子引入受体；它不仅能自我复制，而且也能使外源的 DNA 片段复制。选择到合适的运载体以后，就可把已取得的目的基因的 DNA 分子与运载体的 DNA 分子混合在一起，用连接酶使二者连接起来，形成重组的 DNA 分子，并把它引入适当的受体细胞中，使引入的基因整合到受体的染色体上，使它能正常地自我复制，并能进行转录和翻译，表达该基因应有的功能。目的基因引入到受体一般有两种方法：(1) 转化，使目的基因插入到受体细胞基因组的相应部分。(2) 转导，使目的基因通过运载体转移给受体细胞。1973 年美国科学家科恩等运用上述原理，第一次实现了两种质粒 DNA 的重组，并把重组体 DNA 导入受体细菌得到表达。

【层析】又称色谱法。因最初由分离植物色素而得名。层析法是一类应用十分广泛的分离方法。不管那一种层析方法，其最基本特征是有一个固定相和一个流动相，各种物质得以分离的最基本原因就在于它们在固定相和流动相中，具有不同的分配系数。当两

相作相对运动时，这些物质在两相间进行反复多次分配，即使它们的分配系数只有微小的差异，通过这个过程，也能得到最大的分离效果。层析法按两相状态分类，有气相层析法和液相层析法两种。气相层析以气体作流动相，液相层析以液体作流动相。若按层析机理分类，有吸附层析法、分配层析法、离子交换层析法、凝胶排阻层析法、亲和层析法等数种。若按操作方式分类，则又有柱层析、薄层层析、纸层析等。层析法是当今分子生物学、生物化学、医学的研究中应用最广的一种方法。

【电泳】带电颗粒在电场作用下通过液体或固体移动的现象。电泳技术是分离、制备和鉴定带电颗粒或具有两性电解质性质的生物大分子（如蛋白质、多肽、酶、核酸等）的有力工具。主要是依据它们所带电荷的多寡、分子的大小和形状而进行分离的。电泳的方法很多，大体上可分为自由界面电泳和区带电泳两类。前者指在缓冲溶液中进行的电泳；后者指在固体支持物中进行的电泳。固体支持物有纸、醋酸纤维薄膜和各种凝胶。由于电泳技术的发展，当今衍生出许多新的电泳方法：如盘状电泳、聚焦电泳、梯度电泳、SDS 凝胶电泳、免疫电泳、火箭电泳、印迹电泳等。

【离心分析】利用离心机进行分离、分析和鉴定的一种方法。它研究的对象主要是检查各亚细胞结构中酶的成分以及分离、提纯，以便仔细确定它们的组成，并对 DNA、RNA 和蛋白质等一些分子进行精确的分析。如测定它们的沉降系数、扩散系数、分子量等物理化学性质。离心分析的方法有很多种，如差速离心法、区带离心法、等密度离心法等。采用什么方法，用何种类型的离心机，要根据具体情况而定。

【DNA 的顺序分析】对组成 DNA 的核苷酸排列顺序进行测定的步骤和方法。目前使用较多的一种测定 DNA 顺序的方法是马克辛和吉尔伯特的化学法（见图）。图中（1）是一段用³²P 标记的待测 DNA 片段。（2）是用特定的化学试剂特异地在 A 残基处断裂，使其留下不同长度的放射性片段。（3）是长度不同的 DNA 片段，通过电泳在凝胶上分离，用放射自显影检测出放射性片段。用（1）—（3）所描述的方法对同一种 DNA 的 4 个样品分别用特定的化学试剂在 T 处断裂第一个样品，在 C 处断裂第二个，在 G 处断裂第三个，在 A 处断裂第四个。在同一凝胶板上平行的 4 行中，对 4 种处理所产生的 DNA 片段进行电泳，通过放射自显影可得到带型，从中可读出 DNA 顺序。最接近 5' 末端的核苷酸位于最下部。1 处的带属于第一行是 T；2 处的带属于第三行是 G；3 处的带属于第二行是 C；4 处的带属于第四行是 A。用同样的方法读出 5，6，……18，就得出要测定的全部 DNA 顺序。

【蛋白质顺序分析】又称蛋白质的一级结构分析。对组成蛋白质多肽链的氨基酸排列顺序进行测定的方法。此法因 1954 年英国化学家 F. 桑格成功地测定了牛胰岛素的氨基酸排列顺序而奠定了基础。此法大致包括以下步骤。一、根据蛋白质的氨基（N）末端残基或羧基（C）末端残基的摩尔数和蛋白质的分子量，确定蛋白质的多肽链数。如果蛋白质由几条不同的多肽链组成，就须设法先把这些多肽链拆分开来，再测定各条多肽链的氨基酸顺序。二、将分离、提纯多肽链的部分样品完全水解，用离子交换层析法测定肽链的氨基酸组成，并算出各种氨基酸的分子比。三、应用有关的化学试剂确定多肽链 N 末端和 C 末端的氨基酸残基。四、用几种不同的方法将肽链样品断裂成几套肽段，并用层析法将这些肽段分开。五、用适当的降解法确定各肽段的氨基酸顺序。六、根据几套肽段氨基酸顺序之间的重叠情况，就可推断出整条多肽链的氨基酸顺序。上述方法工作量大，费时费事，后来使用氨基酸自动分析仪，效率大为提高。目前采用从 DNA 的核苷酸顺序推测多肽链的氨基酸顺序的方法进行测定，比较快速、简便，已被广泛应用。

【电子顺磁共振】英文缩写 EPR。又称电子自旋共振（ESR）。1944 年，前苏联科学院院士扎沃伊斯基（Е. К. завойский）发现的一种物理现象。其原子结构中的不成对电子发生能级分裂，电子自旋产生的磁性，能与频率合适的电磁波发生共振吸收，此种现象称为电子顺磁共振。当把被吸收的辐射作为变量的函数来测量时，就得到电子顺磁共振谱。根据上述原理发展起来的电子顺磁共振技术，可研究具有非成对电子的基因或离子（如自由基和某些金属离子）及其与环境的相互作用，目前已在许多领域得到广泛应

用。例如，生物学上研究自由基在动、植物组织中的分布和活动规律，医学上研究自由基和某些微量元素在癌变过程中的变化规律等。

【核磁共振】英文缩写 NMR。1946 年美国科学家布洛克 (F. Bloch) 和普塞尔 (E. M. Pucell) 分别发现的一种物理现象。某些物质原子核的质子或中子不成对, 这样的核就是一个核磁体。它们在适当强度的稳定磁场作用下将处于不同的能级。当核磁体自旋的固有频率与投射在物质之上的外来无线电波的频率一致时, 核磁体就吸收无线电波的能量并在相邻两能级之间跃动, 此种现象称为核磁共振。若把被吸收的辐射作为变量的函数来测量, 就得到核磁共振谱。根据上述原理发展起来的核磁共振波谱技术, 目前已广泛应用于有机化学、生物学和医学等许多领域。由于核磁共振技术不破坏生物大分子的结构, 现已成为研究药物作用机理、活组织和完整器官组成成分的重要物理方法。

实 验 仪 器

【光学显微镜】以可见光 (波长为 380—760 纳米) 为光源, 使微小生物或生物组织切片中的组织结构得以放大成象的仪器。通常使用的复式光学显微镜 (如图) 两组透镜组成。第一组为物镜, 形成标本的放大像; 第二组为目镜, 放大物镜所形成的像。复式显微镜包括支架、反光镜、聚光镜、载物台、物镜、镜筒、目镜以

及调节镜筒升降和载物台移动的机械装置等部分。经过放大的像既可肉眼观察，亦可呈现在荧光屏上，或用照相机拍成照片。物镜倍率乘目镜倍率为放大倍数，复式光学显微镜能放大 1000 多倍（如 15×100 ）；分辨率（能分辨两点之间的最短距离）为 0.2 微米左右。测定物镜分辨率的单位为数值孔径（N. A. = numerical aperture），N. A. 越大，能分辨两点之间的距离越短，分辨力就越强。由于不同波长光线的折射率不同往往造成色差，影响显微镜的成象质量，于是制成消色差物镜（achromat）。一些高级显微镜常在物镜上刻有 Ach. 的字样，即表示该物镜为消色差物镜。

复式光学显微镜示意图

1. 眼 2. 光线 3. 目镜 4. 镜筒
5. 物镜 6. 标本 7. 载物台
8. 聚光镜 9. 反光镜 10. 支架

【相差显微镜】光学显微镜的一种，能将物体本身的相位差（或光

程差)转换为振幅差(光强度)。人眼只能鉴别可见光的波长(颜色)和振幅的变化,而一般生物结构高度透明,光波通过时不能被吸收,振幅基本不变,所以人眼看不见;所发生的相位变化,人眼更感觉不到。经过带有环状光阑的聚光镜和带有相位片的相差物镜的相差显微镜,即可将物体不同部分的相位差转变为振幅差,从而可以看到未着色的生物标本。相差显微镜主要用于观察活细胞或不染色的组织切片。

【荧光显微镜】先用较短波长的光使样品受到激发,产生较长波长的荧光,然后根据样品产生的荧光进行观察的显微镜(见图)。在生物学和医学研究中所应用的荧光有自发荧光、诱发荧光、染色荧光、免疫荧光等。目前使用较多的是落射式荧光显微镜。以高压汞灯或氙灯为激发荧光的光源;以置于光源与物镜之间的激发滤片来选择激发光的波长范围。在与激发光线呈 45° 处置一双色分光镜,将波长较短的激发光和波长较长的发射光分离开,并用阻断滤片使荧光分离得更纯(其中内阻断滤片已固定,外阻断滤片能用手操纵)。物镜宜用数值孔径(N. A.)较大的油浸物镜,目镜宜用低倍目镜。荧光显微镜的光路如上图所示。此种光路可使较长波长的纯荧光到达目镜,以供观察。制备样品时常用荧光染料如吖啶橙(AO)染色,以标记细胞内的DNA和RNA。根据荧光物质的激发光谱和发射光谱,选择并安装适宜的滤片。为进一步分离两种荧光,需在光路中插入干涉滤片,分出的绿色荧光显示DNA,分出的红光显示RNA。操作时将标本置于载物台上,先用普通光源在透射光下对样品聚焦,然后关掉透射光,改用落射光进行观察,就能看到细胞核呈绿色荧光,细胞质和核仁呈红色荧光。

荧光显微镜光路示意图

1. 光源 2. 激发滤片
3. 双色反光镜 4. 物镜
5. 标本 6. 内插阻断滤片
7. 阻断滤片 8. 目镜

【暗视野显微镜】光学显微镜的一种。其特点是不用明视野聚光器而用暗视野聚光器。暗视野聚光器使照明光线不直接进入物镜,由标本的散射光线进入物镜而成像,而且是在黑暗背景上显出明亮的像。这种特殊的照明方式,可以观察到普通明视野显微镜下所看不到的 $0.2—0.04$ 微米之间的微小质点,所以又称超显微镜。暗视野显微镜适于观察折射率有变化的物体如各种胶体颗粒,单细胞动、植物,以及细胞中的线粒状结构和鞭毛、纤毛等,常用于胶体化学和微生物学的研究,但不适于观察染色的标本,因为染色后减少了质点与周围介质之间折射率的差别,使暗视野中的像

质量变差。使用暗视野显微镜标本的载玻片不应过厚，以 1 毫米左右为宜。

【实体显微镜】又称解剖镜。光学显微镜的一种。能清晰地观察到标本的外部形态和解剖结构。实体显微镜有两套目镜和一个大的物镜，目镜与物镜之间各有一组三棱镜，能使光路所形成的倒像转为正像，与实物一致，加上两眼可以同时观察，光源是落射光，所以实体感强。又可边解剖、边观察，非常方便。一般可放大 100—150 倍。

【显微操作器】一种结构精巧的机械装置，一般固定在复式显微镜的两侧，用手操作控制微针或微吸管等工具在显微镜视野内的移动，以便对微小生动或细胞进行解剖或注射。显微操作器由显微镜固定架、基座、潮气室和工具操纵器等部分组成。另有显微工具制作器，以制作微针、微刀、微吸管等。被操作的标本悬滴在潮气空的顶部，显微工具可在潮气空内作上下、左右、前后的移动。显微操作器可用于核移植和其他细胞器移植、向细胞内注入大分子物质等，是发育生物学研究的重要仪器。近年已研制出高精密的显微操作器。

【离心机】一种通过转动转头产生离心力的仪器。是研究生物细胞的结构与功能，分离蛋白质、酶、核酸不可缺少的一种物理技术手段。包括收集和分离细胞、细胞器以及生物大分子等。利用附设的光学系统，还可测定生物大分子的沉降系数、扩散系数、分子量等物理化学性质。最简单的离心机由金属转头和驱动装置组成，它们的最大转速每分钟不超过 4000 转，并且都在室温下运转，

如医用、台式或坐地式离心机。它们常用于收集小量快速沉淀的物质（如红细胞、酵母细胞和粗大的沉淀物等）。高速离心机是指转速在 20000 转左右的离心机，它们多用于制备，通常带有冷冻装置。高速冷冻离心机主要有两种类型：一类是比较简单的大容量连续流动离心机，主要用于从大量培养物中收集菌体；另一类是低容量高速冷冻离心机，速度和温度的控制都很精确，在生化实验室中多数用作制备的手段，如收集微生物、细胞、细胞碎片、大的细胞器、硫酸铵沉淀物以及免疫沉淀物等，但它们尚不能产生足够的离心力而有效地沉降病毒、小的细胞器或核酸、蛋白、酶分子等。超速离心机，其转速在每分钟 25000 转以上。最高能达到每分钟 100000 转，相对离心力也达到几十万重力加速度（g），既可用于制备，也可用于分析（借助于光学系统或其他设备），研究对象是生物大分子，如 DNA、RNA、蛋白质、酶等。超速离心机主要由四部分组成：（1）驱动和速度控制系统；（2）温度控制系统；（3）真空控制系统；（4）转头。离心机是现代生物学、生物化学、分子生物学及医学研究领域，不可缺少的有力工具。

【电泳设备】进行电泳的用具。首先是电泳仪（稳压直流电源）。有高压电泳仪（3000 伏特）和低压电泳仪（600 伏特）。其次是贮存缓冲溶液的各种各样的电泳槽（方形、长方形、圆形、垂直式、水平式、带有冷却装置和蠕动泵的电泳槽等）。常根据不同的电泳方法，选用不同的电泳槽。第三是制胶用的各种玻璃板或玻璃管和支架。

生物名词术语

微 生 物

【细菌鞭毛】在弧菌、螺菌和一些杆菌、少数球菌的菌体上着生，为细长、呈波状弯曲的丝状物，是细菌运动的一种结构，必须经特殊染色才能在光学显微镜下看到。在菌体上着生的位置和数目随菌种而异。顶端一根鞭毛的为单毛菌（如霍乱弧菌 *Vibrio cholerae*），两端各有一根的为双毛菌（如胎儿弯曲杆菌 *Campylobacter fetus*），一端或两端生有一束鞭毛的为丛毛菌（如铜绿假单胞菌 *Pseudomonas aeruginosa*），周身遍布鞭毛的为周毛菌（如伤寒沙门氏菌 *Salmonella typhi*）。细菌鞭毛是中空的管状结构，周边由螺旋排列的鞭毛蛋白组成。电镜下的形态分为丝状体、钩状体和基体三部分。由于鞭毛运动，使细菌具有趋光性、趋化性、趋氧性和趋磁性，朝着营养丰富的方向移动，避开有害环境。鞭毛是鉴别菌种的一个指标，如生物学特性相似的沙门氏菌有鞭毛，可与无鞭毛的志贺氏菌（*Shigella*）区别开。鞭毛蛋白具有抗原性（称 H 抗原），有助于菌的分离和鉴别。

【细菌叶绿体】光合细菌特有的进行光合作用的色素系统。主要结构部分为由镁和四个吡咯环组成的卟啉环，在卟啉环的不同部位

分别带有其他基团 (R)，由于 R 基团的不同，细菌叶绿素又分为 a, b, c, d 和 e 五种。红硫细菌属 (Chromatium) 带有细菌叶绿素 a 或 b；绿硫细菌属 (Chlorobium) 带有细菌叶绿素 c、d 或 e；红螺细菌属 (Rhodospirillum) 带有细菌叶绿素 a 或 b。它们与植物叶绿素的功能相似，均可进行光合作用，把光能转化为化学能，提供生物体代谢所需的能量。

【芽孢】一些细菌在特殊环境下菌体内产生的一种内生孢子。一般每个细菌只产生一个，呈圆形、卵圆形、圆柱形或梭状。其大小有的与菌体相等，也有大或小于菌体的。位于菌体中央或顶端。它的形状、大小和位置均随菌种不同而异，对芽孢杆菌种间鉴别有一定帮助。芽孢的折光性很强，对碱性染料不易着色，在显微镜下极易识别，是芽孢杆菌最明显的特征，用以鉴别产芽孢菌与非产芽孢菌。芽孢的核心是原生质体，原生质体外披皮层、多层芽孢壳、芽孢外壁等层层包裹，成为坚实、不易透水的厚壁球状体，是细菌的一种休眠状态。芽孢对热、紫外线、电离辐射和许多有毒化学药品有很强的抗性，能抵御不良环境，保持菌体的生命活性，有利于菌体的传播，在自然界可存活数十年，但无繁殖力。待环境适宜，芽孢萌发形成新的菌体又可进行繁殖。干热、湿热和间歇灭菌等灭菌方法是根据芽孢的生理、生化特性而采取的措施。产生芽孢的细菌不多。杆菌中只有二个属，即好氧芽孢杆菌属 (Bacillus, 芽孢杆菌属) 和厌氧梭状芽孢杆菌属 (Clostridium, 梭菌属)。球菌中只有芽孢八叠球菌属 (Sporosarcina) 产生芽孢。螺菌属与弧菌属中只有极少数种类产生芽孢。

【中体】又称间体。细菌的细胞膜向内凹陷入胞浆中折叠而形成的

管状或囊状结构。一个细胞内可有一个或几个。位于细胞侧面的叫侧中体，位于中央横隔处与核质相连的叫横隔中体，它在细胞分裂形成横隔时起作用。中体的产生扩大了细胞膜的表面积，同时也相应地增加了膜上呼吸酶类(琥珀酸脱氢酶和细胞色素等)的含量。它的功能可能与细胞壁的合成、核质分裂、细菌呼吸及芽孢形成等有关。因与真核细胞中的线粒体功能比较相似，故又名拟线粒体。中体多见于革兰氏阳性菌，某些革兰氏阴性菌也有发现。

【纤毛】又称菌毛。用电镜观察某些革兰氏阴性菌及个别革兰氏阳性菌的菌体表面，显现出有比鞭毛细、短、直、硬、数量较多的细丝。直径7—10微米(μm)，长0.2—20 μm ，每个细菌约有100—500根。由蛋白质组成，不具运动功能。肠道杆菌的纤毛有普通纤毛和性纤毛两种。具普通纤毛的细菌能借助纤毛粘附在多种细胞上，包括人和动物的红细胞和消化道、呼吸道、泌尿道的上皮细胞等。由此获得立足点，进而侵入粘膜，致使机体感染致病。纤毛也可使许多细菌结合在一起形成菌膜。性纤毛的长度介于普通纤毛和鞭毛之间，是由含F因子的供体菌的F因子基因编码产生的一种蛋白质突起，出现于细胞表面，有促进供体菌与受体菌接合的功能，其顶端接触于受体菌表面，形成接合桥，供体菌借此直接将遗传物质传递给受体菌。

【拟核】又称细菌染色体。无核仁分化，无核膜包被，由一条裸露的环状双链DNA大分子高度折叠缠绕而成。与真核细胞染色体的结构不同、组分不同，如细菌染色体上无组蛋白等。大肠杆菌(*E. coli*)的拟核，长约1毫米，比菌体长1000倍。用核糖核酸酶

或酸处理后，拟核可染色，在光学显微镜下可见拟核呈球形、棒状或哑铃状。有一般生物细胞核的功能，与细菌的遗传变异有密切关系。

【荚膜】某些细菌的细胞壁表面复盖着一层疏松透明的胶状物。荚膜一般较稳定地附着在细菌的表面，并具有一定的外形。有些菌的荚膜很薄，厚度在 200 纳米 (nm) 以下，称微荚膜。通常一个菌体一个荚膜，但有时可见多个菌体存在于一个共同的荚膜内，这种细菌荚膜连在一起的形态称为菌胶团，这是活性污泥的主体，与用微生物处理污水密切相关。成分多为多糖，少数为多肽或其他成分。含水量高，折射率低，需采用特殊染色方法方能在显微镜下见到。荚膜是否存在不是细菌生活所必需。环境条件对其形成影响较大，例如，工业上采用高浓度蔗糖溶液培养肠膜状明串珠菌 (*Leuconostoc mesenteroides*) 可生产出大量荚膜物质，主要成分是葡聚糖，用以生产右旋糖酐，制备代血浆。具荚膜的肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*) 致病力强，在人工培养后可失去荚膜并失去致病性，但菌体仍有生活力。

【肽聚糖】又称粘肽、氨基糖肽或胞壁质、粘质。细菌细胞壁化学组成中的主要成份。由聚糖骨架、四肽侧链和交联桥三部分聚合而成的多层网状结构的大分子化合物。其中聚糖骨架由两种氨基糖：N-乙酰葡萄糖胺与 N-乙酰胞壁酸交替间隔排列，经 β -1、4 糖苷键联连而成聚糖链，四肽侧链连接在胞壁酸上，相邻聚糖骨架上的四肽侧链又通过肽桥交叉联结，构成网状结构。各种细菌的聚糖骨架均相同，但是四肽侧链的氨基酸组成及其联结方式则随菌种而异。肽聚糖是细菌细胞的支持骨架，起保护作用。它一旦

受损，菌体很易裂解或变形。革兰氏阴性菌细胞壁的肽聚糖含量较少只占细胞壁干重的 5—10%，其交联桥只有 20—30%，比较疏松，肽聚糖层受损仍存在其他成份的层次结构，故对溶菌酶和青霉素有耐性。革兰氏阳性菌肽聚糖含量丰富，可占细胞壁物质干重的 40—90%，肽桥的交联度可高达 75—100%，肽聚糖分子层次多，如枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 可达 20 层之多。故结构紧密，其机械性能好，但对溶菌酶及青霉素耐受性差。

【菌株】同种微生物中不同来源的个体的总称。菌株间在某些特性上存在着或多或少的差异。有一定的编号。如生产蛋白酶的为枯草杆菌 1.398，生产淀粉酶的为枯草杆菌 7.658，同属枯草杆菌，但其作用不同。具有典型特征的菌株为标准株，是国际和国内所公认的。可供细菌鉴定或研究、生产上对比使用，如筛选青霉素的标准株是金黄色葡萄球菌 209P；结核杆菌强毒标准株是 H₃₇R_V 等。

【菌落】细菌在固体培养基上生长繁殖，培养一定时间后，形成肉眼可见的群体。不同种类细菌具有不同菌落形态，包括大小、形状、光泽、隆起、颜色、透明度、粘稠度、边缘等，如绿脓杆菌 (*Bacillus pyocyaneus*) 菌落呈绿色，金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 菌落呈金黄色，荧光假单胞菌 (*Pseudomonas fluorescens*) 菌落有荧光，枯草杆菌 (*Bacillus subtilis*) 菌落表面常形成皱折。菌落形态特征是鉴别细菌种类的方法之一。放线菌、酵母菌和霉菌等微生物类群，在固体培养基上亦能形成具有不同形态特征的菌落，在分类学上亦有一定参考价值。

【蓝藻噬菌体】 又称噬蓝藻体。一类以蓝藻为寄主的病毒的总称。曾从单细胞或丝状蓝藻中分离获得。其形态为有尾部，头部成蝌蚪状，与某些细菌的噬菌体相似。其核酸几乎都是 DNA，多数已知类型为烈性噬蓝藻体，都能裂解寄主细胞，曾有报导能使寄主溶源化的噬蓝藻体。其命名通常是根据其侵入的相应寄主而定，取其拉丁文的第一个字母而命名。例如世界上发现的第一个蓝藻噬菌体，称为 LPP-1，是因为它的寄主为鞘丝藻属（*Lyngbya*）、织线藻属（*Plectonema*）和席藻属（*Phormidium*），故取此三属的第一个英文字母称之为 LPP-1；以后又发现在抗原上不同的第二株，就称之为 LPP-2。还发现有其他噬蓝藻体，如 SM-1，其寄主为聚球藻属（*Synechococcus*）和微囊藻属（*Microcystis*）；而 N-1，其寄主则为念珠藻属（*Nostoc*）。

【藻殖段】 又称连锁体。较长的藻类丝状体通过断裂而形成的短片段丝状体。某些蓝藻，如念珠藻属（*Nostoc*）和鱼腥藻属（*Anabaena*）等的丝状体多在异形胞处发生断裂，通过断裂形成的藻丝进行繁殖。

【藻胆体】 又称藻胆蛋白体。附在蓝藻（和红藻）类囊体外表的盘状特殊结构。由藻胆蛋白质、别藻蓝蛋白、藻红蛋白及一些无色多肽组成。藻胆体可占细胞总蛋白的 50%。藻胆蛋白主要包括藻蓝素和藻红素，多数蓝藻以藻蓝素占优势，使细胞呈特殊的蓝色，它们能将所吸收的能量传递给光合系统Ⅱ。

【昆虫病原真菌】 在昆虫体上营寄生生活的真菌。根据寄生方式的不同可分为三类。（1）外部寄生类，寄生于昆虫体表，主要为子

囊菌纲 (Ascomycetes) 虫囊菌目 (Laboulbeniales) 的真菌, 少数为半知菌类 (Deuteromycetes)。一般不能人工培养, 对寄主危害不大。(2) 内部寄生类, 能在昆虫体内生长繁殖并可杀死寄主, 主要有白僵菌属 (*Beauveria*)、绿僵菌属 (*Metarrhizium*)、虫霉属 (*Entomophthora*) 和座壳孢属 (*Aschersonia*) 等真菌, 多数可人工培养, 从寄主的外壳、口部和呼吸管等部位进入虫体, 在生物防治中是一类重要的真菌。(3) 捕食类, 能寄生并且有捕捉土壤变形虫和线虫等原生动物的特殊功能, 主要为捕虫霉目 (Entomophthorales) 和半知菌类的丛梗孢目 (Moniliales) 的部分真菌。昆虫病原性真菌不仅可作为有效的生物防治菌, 如白僵菌和绿僵菌等, 而且某些种类还可形成著名的中药, 如僵蚕和冬虫夏草等。

【链孢霉 (菌)】 又称脉孢霉 (菌)。真菌门子囊菌亚门球壳菌目。因子囊孢子表面有纵形条纹, 似叶脉, 故名。菌丝体疏松, 分支成网状, 菌丝内有隔, 多核。无性繁殖时形成分生孢子, 为卵圆形, 多呈红色或粉红色、着生于直立、二分叉的分生孢子梗上, 成串生长。因其常在富含淀粉的食物上生长, 故又称红色面包霉。有性繁殖时可产生造囊丝, 并由此形成子囊, 且有子囊果为子囊壳, 故属核菌类。子囊壳圆形, 具有一个短颈, 褐色或黑褐色。在遗传研究及生化途径研究上广泛应用。其子囊孢子在子囊内呈单向排列, 表现为规律性的遗传组合, 给遗传研究带来极大的方便。其菌体内含丰富蛋白质、维生素 B_{12} 等, 可用于工业发酵和制作饲料。常用菌种如, 粗糙脉孢菌 (*Neurospora crassa*)、好食脉孢菌 (*N. sitophila*) 等。

【包涵体】某些感染无脊椎动物和脊椎动物的病毒侵入寄主细胞后，刺激机体所形成的蛋白质结晶体。内含一至多个病毒粒子。个体较大，并具一定形态，可在光学显微镜下看到。一些昆虫的包涵体常形成多角形，常称此类病毒为多角体病毒，内含多个病毒粒子，在核内形成包涵体的病毒称核型多角体病毒；在细胞质中形成包涵体的病毒则称质型多角体病毒。而有些昆虫病毒则形成圆筒形或椭圆形，内多含一个病毒粒子，称颗粒体病毒。有些包涵体还被赋予特殊名称，如天花病毒包涵体称顾氏（Guarnieri）小体，狂犬病毒包涵体称内基氏（Negri）小体，烟草花叶病毒包涵体称 X 体等。

【病毒粒子】具有完整结构和侵染力的成熟病毒颗粒。一个病毒粒子内只含单分子的脱氧核糖核酸（简称 DNA）或核糖核酸（简称 RNA），一般不同时含有，存在于病毒粒子的中央部位，称核髓（或核心），其外覆盖蛋白质成份的外壳，称衣壳，它由许多称为衣壳粒的蛋白质亚基构成。衣壳粒的形态、数目、排列方式随不同病毒粒子而异，并形成不同构型，如腺病毒（Adenovirus）共 252 个衣壳粒，排列成二十面体，称立方体对称；烟草花叶病毒（简称 TMV）共 2130 个衣壳粒，排列成螺旋状，称螺旋体对称；大肠杆菌 T₄ 噬菌体，由头部和尾部构成，结构较复杂，其构型既有螺旋体对称又有立方体对称，称复合对称。有些病毒粒子在衣壳外覆以脂蛋白膜，称被膜（或囊膜），内含蛋白质、脂类、多糖等成分，其上常有钉状突起，与病毒侵染及繁殖过程有关。病毒粒子个体微小，以纳米（nm）为计算单位，极大多数只能借助电子显微镜才能观察到。

【噬菌斑】在固体平皿培养中，侵入敏感细菌的噬菌体不断引起细菌裂解而形成的透明空斑。此空斑内充满噬菌体。单个噬菌体引起细菌裂解后，可释放出一定数量的新噬菌体（数量的多少随噬菌体而异），它们又可重新感染邻近细胞并导致其裂解，因而形成了肉眼可见的噬菌斑。因此通过检测噬菌斑的多少可计算出噬菌体的数目。此法已广泛应用于噬菌体的研究，如用此法发现了烈性噬菌体生长过程的二个时期即隐蔽期和释放期；确定了病毒的一步生长曲线等。通过测定以上两个时期的噬菌斑数，可计算出每个细菌细胞释放的噬菌体数目即裂解量。

【溶源性细菌】在染色体上整合了温和噬菌体的核酸（即原噬菌体），但又检查不出噬菌体的存在，这样的细菌称为溶源性细菌。原噬菌体可稳定遗传，随细胞分裂而传给子代。在传代过程中可能发生原噬菌体的丢失，从而失去溶源性。只有极少数细菌个体发生自发裂解；外界因素如紫外线、X-射线等可诱导原噬菌体活化，使细菌裂解数目大增，实际应用上可用此法获得大量游离噬菌体。溶源性细菌对其同源噬菌体具有“免疫性”，即噬菌体可进入细胞，但不能增殖，亦不能导致细菌裂解。溶源性广泛存在于各种细菌中，如大肠杆菌（*E. coli*）、沙门氏菌属（*Salmonella*）、芽孢杆菌属（*Bacillus*）、棒杆菌属（*Corynebacterium*）等的某些种类均有溶源现象。有些原噬菌体还能使溶源性细菌获得某种新的特性，例如白喉棒杆菌（*C. diphtheriae*），只有被 β -噬菌体溶源化后才具有产生外毒素的致病能力。

【噬菌体】又称细菌病毒。细菌的噬食者，即以细菌为宿主的病毒。通常亦指侵入放线菌等原核生物的病毒。广泛存在于自然界。根

据其形态特征及核酸类型主要分为六类。(1) 呈蝌蚪状, 具能收缩的长尾, 内含双链 DNA, 如大肠杆菌的 T_2 , T_4 , T_6 ; (2) 蝌蚪状, 内含双链 DNA, 但其长尾不能收缩, 如大肠杆菌的 T_1 , λ ; (3) 蝌蚪状, 双链 DNA, 但为短尾, 如大肠杆菌的 T_3 , T_7 ; (4) 球状, 无尾, 单链 DNA, 如大肠杆菌的 $\Phi\chi 174$; (5) 球状, 无尾, 单链 RNA, 如大肠杆菌的 f_2 , MS_2 , $Q\beta$; (6) 丝状, 无头部与尾部之分, 单链 DNA, 如大肠杆菌的 fd , f_1 , M_{13} 等。噬菌体形态多样, 侵入菌体的特异性极强。已被广泛应用于微生物学、分子生物学、分子遗传学等多种学科的研究, 对生命科学的发展具有重要意义。噬菌体感染是发酵工业的大敌。

【温和噬菌体】进入细菌细胞后不使细胞裂解, 其核酸整合到细菌染色体上, 随宿主细胞核酸的复制而复制, 并随细胞分裂而传给子代, 这样的噬菌体称为温和噬菌体。整合到细菌染色体上的噬菌体核酸, 称原噬菌体。整合有原噬菌体的细菌称溶源性细菌。在自然状态下, 溶源菌群中的极少数细菌可被裂解, 释放出新的子代噬菌体; 但在不发生裂解的宿主细胞中, 难以检查到噬菌体的存在。温和噬菌体有三种存在状态。(1) 游离状态, 具侵染性的成熟病毒粒子。(2) 原噬菌体状态。(3) 营养期噬菌体, 在宿主细胞内进行核酸复制并指导合成子代噬菌体的外壳蛋白质。以上状态的存在与外界因素影响及宿主的个体特性、生理状态等因素有关。因此, 可用人工方法(如紫外线照射等)诱导其进入营养状态, 转变成烈性噬菌体, 导致宿主细胞裂解, 从而获得大量噬菌体。

【烈性噬菌体】在进入细菌细胞后, 很快引起侵入细胞性质的改变,

并在其内大量增殖，最后导致宿主细胞裂解死亡的噬菌体。通常要经过以下几个阶段。（1）吸附：噬菌体特异性地吸附在相应的宿主细胞上，如大肠杆菌 T_4 噬菌体，以其尾部末端吸附于大肠杆菌上，大肠杆菌 M_{13} 噬菌体只能吸附在大肠杆菌的性纤毛末端上；（2）侵入和脱壳：多数噬菌体以特殊方式将其核酸注入宿主细胞内，少数以整个病毒粒子侵入宿主细胞后，在溶酶体作用下脱去蛋白质外壳；（3）生物合成：在病毒核酸的控制下，利用宿主细胞的营养物质及其酶系统，通过核酸复制、转录、转译等过程，分别合成新一代病毒自身的核酸和蛋白质外壳；（4）装配：将复制和合成出来的核酸和蛋白质外壳，重新组装成新一代病毒粒子；（5）释放：最后以不同方式（如一次裂解或出芽方式等）将成熟病毒粒子释放至细胞体外，又可重新感染其他相应的宿主细胞。

【 $Q\beta$ 噬菌体】 侵染大肠杆菌 (*E. coli*) 的一种噬菌体。通常侵染其进行接合的供体菌株，并特异地吸附在此菌的性纤毛上。其形态为无尾部的多面体，直径约 25 纳米 (nm)。核酸为单链 RNA，具有 mRNA 功能，即为“+”RNA。噬菌体基因组复制时，其负链是以亲本基因组（即正链 RNA）为模板合成的，其新的基因组（即正链 RNA）又进一步在负链上合成。成熟病毒粒子的形成，大部或全部通过自我装配完成。

【根际微生物】 受植物根系影响的土壤区域中，存在的较为固定的微生物群落。主要为细菌、放线菌和真菌。因植物在生长过程中不断通过根部向土壤分泌微生物能直接利用的有机物（如氨基酸、肽类、维生素等）和生长刺激素，致使在根际范围内的微生物生长旺盛，其数量明显高于其他区域。根际微生物也可有效地抑制

其他病原微生物的生长及其对植物的侵害，并能分解植物难以利用的有机物，如纤维素等，对改良土壤和促进植物生长具有重要作用，植物与根际微生物之间为互利共生关系，是生态学研究的重要课题之一。

【悉生生物】用以研究高等有机体与微生物之间相关性的已知微生物和无菌动植物的统称。由此形成的学科称为悉生生物学(gnotobiotics)。由于正常动植物体内存在着大量微生物，某一种微生物所起的作用，可能会被其他微生物的作用所掩盖，如果将某种已知微生物接种于无菌动植物体中，则此种微生物的作用就会明确地表现出来，可研究特定微生物对动植物的生理作用和致病作用，以及寄主与微生物区系的相关性和寄主内微生物区系间的相互依赖性等问题。

【择生生物】接种一种或多种已知微生物的无菌动物。已建立的无菌动物有小鼠、豚鼠、兔、猴和鸡等。基本依据为幼小动物在出生前是无菌的，所以，无菌鸡是通过对孵化蛋表面有效地消毒后，在无菌容器内孵化获得。小鼠、豚鼠、兔和猴等哺乳动物则在无菌条件下通过破腹可将临产动物从母体中取出，进行无菌喂养，使其生长繁殖，从而获得无菌子代。择生生物可用于研究已知微生物在无菌动物体内的各种作用，进而阐明微生物与人体及动物之间的相互关系。

【瘤胃微生物】在反刍动物（牛、羊和骆驼等）的瘤胃中定居的特定微生物群落。主要包括瘤胃细菌（如白色瘤胃球菌 *Ruminococcus albus*、居瘤拟杆菌 *Bacteroides ruminicola* 等）和

纤毛原生动物（如原口等毛虫 *Isoticha prostoma*、囊状内毛虫 *Entodinium bursa* 等），均属于专性厌氧微生物，它们在反刍动物的瘤胃中分泌各种酶系进行复杂的生化反应，可将动物难以消化的纤维素和木质素等有机物分解为纤维二糖和葡萄糖；并通过发酵作用产生大量的有机酸、二氧化碳和甲烷，同时合成氨基酸和维生素，为动物提供必需的养料来源。反之，瘤胃又为微生物的生存创造了必要的条件（如恒定的温度、厌氧环境等）。所以，瘤胃微生物和反刍动物之间是互惠共生的关系。

【生物固氮机理】某些生物特有的一类生化反应。固氮微生物通过自身的固氮酶催化，在能量物质（ATP）和 Mg^{2+} 的参与下，用还原剂将空气中的游离氮还原为氨。固氮作用所需的能量和电子来源主要通过微生物的光合磷酸化、氧化磷酸化和底物水平磷酸化而获得。传递电子的载体为铁氧还蛋白（ferredoxin），其中固氮酶是特有的因素，主要由铁蛋白和钼铁蛋白二个组分构成，铁蛋白对氧气敏感；过量产物（氨）的积累可反馈抑制固氮酶的活性；固氮酶底物专一性不强，可还原乙烯、乙炔和氰等有机物，通常采用乙炔还原法测定固氮酶活性。固氮机理的研究，在理论上和在生产实践中都是非常重要的课题之一。

【固氮微生物】能将大气中的氮气转化为氨和含氮有机物的微生物。已发现的固氮微生物有 100 多种，如蓝细菌（蓝藻）、光合细菌、严格厌氧菌、兼性或专性好氧菌等类群的微生物均能固氮。依据固氮形式的不同可分为三种：（1）共生固氮微生物，如根瘤菌属（*Rhizobium*），在豆科植物的根部形成根瘤结构，和植物组成共生固氮体系，固氮能力较强。（2）自生固氮微生物，如固氮菌

属 (*Azotobacter*), 存在于土壤中, 种类较多, 是生物固氮的主要类群。(3) 联合固氮微生物, 如固氮弧菌, 存在于土壤中, 是一类重要的固氮微生物。大气中约含 80% 的游离氮, 具有充足的氮素来源, 固氮微生物每年可固氮 1.75 亿吨。利用固氮菌制成的菌肥, 可明显地增强土壤肥力, 有利于农业生产。

【兼性厌氧微生物】在有氧和无氧环境中皆能正常生长的一类微生物。包括肠道细菌, 人及许多动物的致病菌、酵母菌及一些丝状真菌等, 有氧时, 通过氧化磷酸化途径获取能量; 无氧时, 菌体的细胞色素和其他呼吸系统组分减少或失去, 通过发酵途径获得能量。酵母菌属 (*Saccharomyces*) 和大肠杆菌 (*E. coli*) 是典型的兼性厌氧微生物, 前者是生产单细胞蛋白和酒精的重要工业菌; 后者是生物工程研究中的重要工程菌和卫生学检查的污染指示菌。

【厌气性微生物】必须在无氧环境中才能正常生长的一类微生物 (氧对其有强烈的毒害作用)。如梭状芽孢杆菌属 (*Clostridium*)、产甲烷杆菌属 (*Methanobacterium*)、瘤胃球菌属 (*Ruminococcus*) 和链球菌属 (*Streptococcus*) 中的一些细菌, 由于它们不能产生或只产生少量的接触酶和超氧化物歧化酶 (*Superoxide dismutase*), 不能分解在有氧时形成的过氧化氢和超氧化物等对微生物有害的物质, 所以, 培养厌气性微生物常采用焦性没食子酸吸收法、真空法和石蜡覆盖法等以排除氧的存在。工业上, 常利用丙酮丁醇梭状芽孢杆菌 (*C. acetobutylicum*) 在密封厌氧发酵罐中生产丙酮、丁醇等有机溶剂。在医学上, 某些致病性厌气微生物对人体危害极大, 如破伤风梭状芽孢杆菌

(*C. tetani*) 和肉毒梭状芽孢杆菌 (*C. botulinum*) 等, 已引起人类的极大关注。

【好气性微生物】在氧气充足的环境中才能正常生长的一类微生物。多数细菌、真菌和藻类属于此类, 由于这些微生物呼吸作用的最终电子受体是氧, 所以缺氧时便停止生长, 但通常不死亡, 这一特性是菌种保存的依据之一。在实验室中常采用振荡培养以满足微生物对氧的需求。工业生产中则采用通入无菌空气和搅拌的方法供氧, 例如在各种抗生素和氨基酸等的发酵生产中就用这些方法。

【自养微生物】能够利用简单的无机物作为营养物质进行正常生命代谢活动的微生物。主要包括两种类型。(1) 光能自养微生物, 以 CO_2 作为唯一或主要碳源并利用光能进行生长的微生物, 主要是一些蓝细菌、红硫细菌和绿硫细菌等少数微生物, 它们含有叶绿素或细菌叶绿素, 以 H_2O 、 H_2S 等无机物作为供氢体, 利用光能将 CO_2 还原成细胞物质。(2) 化能自养微生物, 以 CO_2 或碳酸盐作为唯一或主要碳源, 氢、硫化氢、二价铁离子 (Fe^{2+})、亚硝酸盐等作为电子供体, 利用无机物氧化获得能量而进行生长的一类微生物, 包括硫细菌、硝化细菌、氢细菌和铁细菌等。自养微生物广泛存在于土壤和水域环境中, 在自然界物质转化中起着重要作用。

【异养微生物】主要以有机物作为营养物质进行生命代谢活动的一类微生物。分为两种类型。(1) 光能异养微生物, 以有机物作为供氢体, 利用光能, 在有机物参与下, 将 CO_2 还原成细胞物质, 例

如红螺菌。(2) 化能异养微生物, 即以有机物作为碳源和能源维持生长的微生物。已知的微生物多数属于此类, 根据它们利用有机物的特性, 分为腐生型和寄生型, 前者利用无生命活性的有机物作为碳源, 后者寄生在活体细胞内, 从寄主体内获得营养物质。异养微生物种类繁多, 分布广泛, 与人类的关系密切, 是微生物学的主要研究对象。

【化能合成作用】微生物利用化学能将小分子物质合成大分子细胞结构物质的过程。有两种类型。(1) 化能自养型, 利用无机物的氧化获取能量, 将 CO_2 或碳酸盐合成细胞结构物质。这类微生物称为化能自养微生物, 包括铁细菌(如氧化亚铁硫杆菌 *Thiobacillus ferrooxidans*)、硫化细菌(如氧化硫硫杆菌 *Thiobacillus thiooxidans*)、硝化细菌(如亚硝化单胞菌 *Nitrosomonas*、硝化杆菌 *Nitrobacter* 等)和氢细菌(如氢单胞菌 *Hydrogenomonas*)等。(2) 化能异养型, 利用有机物的氧化获得化学能, 将小分子有机物合成大分子细胞物质的过程。这类微生物种类最多, 腐生性和寄生性微生物都属于此种类型, 称为化能异养型微生物。

【化能自养细菌】一类能在完全无机环境中生活, 以 CO_2 或碳酸盐为主要碳源或唯一碳源, 能从无机物氧化中获得能量的细菌。仅发现于原核生物中, 多为好氧微生物。根据其氧化无机物的专一性分为多种类群, 如硝化细菌、硫细菌、氢细菌、铁细菌等, 在它们生活过程中, 分别利用氨、亚硝酸盐、硫化氢、氢和二价铁离子等作为电子供体, 使 CO_2 还原成细胞物质。广泛分布于水域和土壤环境中。在维持地球上的物质平衡及将废弃物进行无害化处理中起着重要的作用。

【化能异养微生物】一类以有机物为碳源，以氧化有机物获得的化学能为能源，不能以 CO_2 作为唯一碳源或主要碳源的微生物。分布广、数量多，包括极大多数微生物。有些可利用无生命的有机物，称腐生；有些需从寄主体内获得营养物质，称寄生。许多微生物需以氧作为最终电子受体，才能获得能量，所以是个需氧过程，称好氧微生物；有些不需要氧，在有氧环境下反而不能生活，称厌氧微生物，如甲烷杆菌属 (*Methanobacterium*) 等。也有的在有氧和无氧条件下均能生活，称兼性好氧或兼性厌氧微生物，如酵母菌属 (*Saccharomyces*) 和大肠杆菌 (*E. coli*) 等。

【光能合成作用】微生物通过光合色素捕获光能转化为化学能，将小分子物质 (CO_2 和有机物等) 合成大分子细胞结构物质的过程。具有两种类型。(1) 光能自养型，微生物利用叶绿素或细菌叶绿素，通过光合磷酸化产生 ATP，以还原性无机物 (H_2S 、 H_2O 等) 作为供氢体，还原 CO_2 合成细胞物质。主要包括蓝细菌 (*Cyanobacteria*)、绿硫细菌 (*Chlorobium*) 和红硫细菌 (*Chromatium*) 等。(2) 光能异养型，通过细菌叶绿素利用光能，以有机物 (醇、有机酸等) 作为供氢体，利用 CO_2 合成细胞物质，通常还需要生长因子参与，属于这种类型的主要有红螺菌 (*Rhodospirillum*)；他们在无光环境中，也可利用小分子有机物迅速繁殖，对高浓度有机废水有较好的净化作用。

【光能异养细菌】一类在厌氧、光照条件下进行不放氧光合作用，以光为能源、有机物为供氢体，不能以 CO_2 作为主要或唯一碳源的光合细菌。细胞内除细菌叶绿素外还含有较多类胡萝卜素，故

菌体不显绿色而为紫红色或褐色。有些菌在有光、无氧、低浓度 H_2S 条件下，亦能利用硫化物为供氢体，利用光能同化 CO_2 ；在有氧、无光、存在有机物时，亦可利用有机物为碳源和能源，不合成光合色素，无光合作用；故属兼性光合细菌。光能异养细菌主要有两属，红假单胞菌属 (*Rhodopseudomonas*)，细胞杆状；红螺菌属 (*Rhodospirillum*)，细胞螺旋状。分布于海水或淡水中。

【光能自养细菌】一类在无氧光照条件下，以 CO_2 为唯一碳源或主要碳源，光为能源，以 H_2S 、 S 或 H_2 为供氢体的光合细菌。主要包括蓝细菌、红硫细菌和绿硫细菌等。红硫细菌 (*Chromatiaceae*) 又称紫硫细菌，细胞内主要色素为细菌叶绿素 a 和类胡萝卜素，使菌体呈紫色、褐色或红色而不是绿色，反应产物有元素硫或硫酸，硫可积累在细胞内或分泌至细胞外；绿硫细菌 (*Chlorobiaceae*) 的细胞内主要含细菌叶绿素 c 、 d ，和少量细菌叶绿素 a 及类胡萝卜素，使菌体主要呈绿色，代谢过程中可产生元素硫，并常分泌至细胞外。

【硝化作用】某些微生物能将氨氧化成亚硝酸，进而氧化成硝酸的过程。硝化作用分为两个阶段，分别由两类不同的微生物完成。亚硝化细菌，如亚硝酸单胞菌 (*Nitrosomonas*)，将氨氧化成亚硝酸；硝化细菌，如硝酸杆菌 (*Nitrobacter*)，将亚硝酸氧化成硝酸。上述两类细菌皆为专性好气自养微生物，栖息于微碱性的土壤中，通常不能在含有机质的培养基中生长，且难以纯化，常和其他细菌伴生。细菌的硝化作用可将其他微生物分解含氮有机物所放出的氨转化为硝酸，供应植物生长的需要。因此，细菌的硝化作用与土壤肥力密切相关，并在自然界氮素循环中起着重要的作用。

【反硝化作用】又称异化硝酸盐还原作用。在缺氧条件下，微生物将土壤或水中的硝酸盐还原成元素氮的过程。行反硝化作用的微生物主要分布在土壤、海水和淡水中。种类有地衣芽孢杆菌 (*Bacillus licheniformis*)、脱氮副球菌 (*Paracoccus denitrificans*) 和脱氮硫杆菌 (*Thiobacillus denitrificans*) 等。反硝化作用只能在厌氧或微好氧、中性或微碱性条件下发生，是自然界氮循环的一个重要环节，其作用是可补充大气中的氮素，使其维持恒定的含量，同时消除地下水中氮的富集，但可造成土壤中部分有效氮肥的损失，同时由于还可产生亚硝酸等对植物有害的中间产物，故对农业生产不利。

【发酵】生物或离体的酶，将糖类分解产生乳酸、酒精和二氧化碳等的作用。也指在生物体内，在以有机物为基质的生物氧化反应中，以有机化合物作为电子供体和最终受体的氧化作用。这是一种不需氧的产能代谢，是许多厌氧微生物获得能量的唯一方式，一些兼性和好氧微生物也有发酵阶段。微生物发酵，是泛指一般利用微生物进行工业生产的过程，可在无氧或有氧条件下进行，前者如酒精发酵、乳酸发酵、丙酮丁醇发酵等，后者如醋酸发酵、抗生素发酵、氨基酸发酵、柠檬酸发酵等，这些发酵在工业生产上均有重要作用。

【石油发酵微生物】能够将石油烃类物质转化成蛋白质等有机物的一类微生物。主要包括酵母菌中的假丝酵母属 (*Candida*) 和细菌中的诺卡氏菌属 (*Nocardia*)、假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、微球菌属 (*Micrococcus*)、无色杆菌属 (*Achromobacter*) 和棒杆菌属

(*Corynebacterium*) 等。它们以烃类为营养基质,能在 40—200 分钟内分裂一次,虽然细胞产量较低,但在发酵过程中有成本低和无需灭菌的特点,是一种潜在的蛋白质食物来源,在生产石油但严重缺乏蛋白质的地区,这类微生物可以有效地将石油转化为单细胞蛋白,作为饲料乃至食品,具有很大的开发价值,而且,有些微生物在石油脱蜡精炼方面也有很大用途。

【乙醇发酵】在厌氧条件下,微生物通过糖酵解途径(又称 EM 途径)将葡萄糖转化为丙酮酸,丙酮酸进一步脱羧形成乙醛,乙醛最终被还原成乙醇的过程。乙醇发酵的主要代表菌为酵母菌属(*Saccharomyces*),工业上主要用于酿酒和酒精生产。某些细菌,如运动发酵单胞菌(*Zymomonas mobilis*)也可以进行乙醇发酵。

【甲烷发酵】又称沼气发酵。甲烷产生菌在严格厌氧的条件下,利用 CO、CO₂、乙酸或甲醇等物质产生甲烷的过程。甲烷产生菌主要是一类包括甲烷杆菌属(*Methanobacterium*),甲烷球菌属(*Methanococcus*)和甲烷八叠球菌属(*Methanosarcina*)的细菌。此类微生物都是专性厌氧微生物,它们可以利用氢的厌氧氧化获取能量,以 CO₂ 为电子受体,终产物为甲烷和水,一些种类也可由乙酸、甲醇或 CO 的厌氧代谢产生甲烷。主要存在于无氧淤泥(如池塘、沼泽中)或瘤胃中。甲烷发酵并非甲烷产生菌的单一作用,是和其他微生物一起协同发酵的结果。人类可以通过甲烷发酵将有机废物转化成可利用的能源。例如,在农村可将秸秆、人和动物的粪便等废物置于人工建造的沼气池中进行甲烷发酵,将产生的甲烷用于照明、烧饭和开动机器等。

【乳酸发酵】微生物在厌氧条件下通过糖酵解途径，利用葡萄糖生成丙酮酸，丙酮酸进一步还原成乳酸的过程。乳酸发酵包括两种形式。(1) 同型乳酸发酵，发酵产物中只有乳酸，微生物包括乳酸链球菌 (*Streptococcus lactis*)、乳酪链球菌 (*Streptococcus cremoris*)、干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*) 等细菌。(2) 异型乳酸发酵，发酵产物中除乳酸外，同时含有乙酸、乙醇、CO₂ 和 H₂ 等，发酵途径较复杂，代表菌为明串珠菌属 (*Leuconostoc*) 及乳酸杆菌属 (*Lactobacillus*) 中的细菌。乳酸发酵在发酵工业及食品工业中具有重要作用，乳酸、泡菜、酸菜、青贮饲料、乳酪及酸牛奶等产品皆为乳酸发酵的产物。德氏乳杆菌 (*Lactobacillus delbruckii*) 是工业上常用的菌种。

【溶菌作用】用机械学（如超声波处理）、免疫学（如在免疫血清中加入补体），或酶学的（如用溶菌酶处理）方法将微生物细胞裂解的作用。原噬菌体的诱导（如用紫外线或高温处理原噬菌体使之变为能裂解细菌的噬菌体）也可以引起溶菌现象。溶菌作用在现代生物学研究具有重要意义。

【抑菌作用】利用某些理化因子（如低温、干燥、盐腌、糖渍和添加防腐剂等）使微生物暂时处于不生长、不繁殖但又未死亡的状态，是防止食品腐败和其他物质霉变的技术措施。在基础研究、食品保存和日常生活中广泛应用。

【灭菌】杀死物体表面和内部全部生物体的措施。微生物学的观点认为，如果物体上无任何微生物时，就是无菌物体。常采用物理灭菌法（干热灭菌法、湿热灭菌法、照射灭菌法、过滤灭菌法

等)和化学灭菌式(用酒精、甲醛、来苏尔、碘酒等涂抹)。应根据不同物体和不同需要而选用不同的灭菌方法,如普通实验室中,对耐高压的物体,常采用加压蒸气灭菌法,对不耐高压的物品常采用间歇灭菌法或过滤除菌法等。灭菌在微生物学、医学和食品科学领域的研究中是不可缺少的消毒方法。

【干热灭菌法】利用干燥高温条件杀死物品上所有微生物和芽孢。烧灼法:直接用火灼灭菌。适用于接种针或接种环、L型玻璃棒等实验用具在使用前后的灭菌。焚烧法:适用于实验室或医院有传染性的废弃物的焚烧。干烤法:将物品放入烤箱内,靠热空气达到灭菌。常加热至 160°C 恒温保持 2 小时,不宜过高,以免烧焦棉塞或包装纸。适用于在高温下不损坏、不变质、不蒸发的物品的灭菌。红外线也是一种快速的干热灭菌法。

【加压蒸汽灭菌法】将物品置于密闭的蒸汽锅内(常用高压灭菌锅)进行加热灭菌的方法。因在一定条件下,水蒸汽压力越大,锅内的温度越高,杀菌力也越强。在压力达 $1.05\text{kg}/\text{cm}^2$ 时,温度可达 121.3°C ,保持 15—30 分钟可杀死一切微生物和芽孢。对体积较大的含菌污物或充填较满的发酵原料,可适当增大压力或延长灭菌时间。凡是耐高温、不怕潮湿的物品(如手术器械、敷料、普通培养基、生理盐水、耐热药液及被微生物污染的物品等)均可使用此法灭菌。

【间歇灭菌法】利用反复多次的流通蒸汽消毒以达到灭菌的方法。将物品置于阿诺氏流通蒸汽灭菌器(或蒸笼)内,加热至 100°C , 15—30 分钟,杀死其中的细菌营养体,此时芽孢还保持活力。然

后降温，取出物品置 37℃ 温箱过夜（至少 4 小时），使芽孢萌发成营养体，次日再以同法加热，如此反复三次，即能达到彻底灭菌目的。每次间歇时间不宜太长，以免新营养体形成新的芽孢。此法适于不耐高温的营养物质、药品等的消毒。

【巴氏消毒法】又称低温消毒法，即利用不太高的温度（低于 100℃）杀死物品中的病原菌或一般杂菌（芽孢除外），同时又不致损害其质量的一种消毒方法。由法国微生物学家、化学家巴斯德首创，故名。常用于消毒牛奶、啤酒、酿酒原汁等。当加温 61.1—62.8℃，30 分钟或 71.7℃，15—30 分钟，可杀死结核分枝杆菌或布鲁氏菌、白喉棒状杆菌等。在制造菌苗时，通常加温至 66℃，30—60 分钟，可杀死细菌，但其抗原性仍保持。

【细菌滤器】用物理方法阻止液体或空气中的细菌通过的特制的仪器。又称滤菌器。滤菌效能取决于滤菌器的滤孔大小和电荷等因素。主要用于不耐高温灭菌的血清、蛋白质等的除菌，而对病毒、支原体及 L 型菌仍不能去除。滤菌器的种类很多，常用的有：张伯伦滤菌器，用未上釉的瓷器制成；贝克斐滤菌器，用硅藻土加压制成；蔡司滤菌器，用金属和石棉板制成；玻璃滤菌器，用玻璃细砂加压而成；薄膜滤菌器，用醋酸纤维作成薄膜装在金属滤菌器上而成。

【无菌操作】在无菌的环境中进行微生物学实验的方法。微生物是肉眼看不到的微小生物，无处不在，为防止在操作中混入杂菌，通常要对实验器械进行严格灭菌，并在无菌环境中（如无菌室、超净工作台、无菌箱和酒精灯火焰旁等）进行操作。无菌操作是一

种连续而完整的实验过程，不仅适用于微生物学研究，并在动植物的组织培养、医学、食品与饮料的生产中广泛应用，是现代生物学研究的重要手段之一。

【微生物分析法】利用微生物对食品或药物中的维生素、氨基酸和抗生素等物质的含量进行测定分析的方法。在一定生长范围内，某些微生物的生长与待测样品中维生素和氨基酸的含量成正比，与抗生素的含量成反比，因此，可通过测定微生物生长而确定样品中有关物质的含量。微生物分析法因操作简便，灵敏度高，已广泛应用于食品的营养分析和抗生素效价的测定。

【微生物接种】在微生物培养中，在无菌条件下，将微生物菌种接入经过消毒的人工培养基中的过程。因环境中存在着肉眼不可见的大量微生物，为保证接入培养物为所需培养物而不致被其他微生物污染，须用特殊的无菌操作方法进行接种。实验研究中一般常在无菌室内，在酒精灯旁的无菌环境中进行。接种工具常用铂或镍铬合金丝制作，它们传热快、散热快，不易被氧化并且耐腐蚀。大规模工业生产中的扩大接种，通常在灼烧的火焰旁进行。

【革兰氏染色法】一种鉴别细菌最常用的染色方法。最初为丹麦医师革兰所采用，故得名。其方法通常是选用培养至对数期的细菌，先用结晶紫初染，以碘液媒染，再用 95% 酒精脱色，最后用番红（或沙黄）复染。染色结果出现两种颜色，若菌体呈蓝紫色称“革兰氏阳性菌”，包括大多数球菌及大量杆菌；若菌体呈浅红色（或土黄色）称“革兰氏阴性菌”，包括少数球菌、大量杆菌和螺菌、弧菌。不同革兰氏染色的细菌其特性不同。这些特性包括致病

性、对药物的敏感性、所产生的毒性等。故革兰氏染色法不仅在细菌分类学上,并在选择杀菌药物及治疗疾病上,均具有较大意义。

【微生物分离纯化法】从自然界存在的混杂微生物类群中分离纯化出某种微生物的方法。根据微生物对营养、pH 值和氧等条件需求的不同,而采用不同的条件以获得所需的微生物,常用的方法有两种。(1) 稀释倒平板法:将分离材料作一系列稀释,然后取一定量低浓度稀释液加入到已熔化并已冷却至 45°C 的琼脂培养基内,混合后倒入至灭菌的培养皿中,凝固后,放置在合适的温度下培养,如果稀释比例适当,在培养皿中即可出现由单一微生物形成的菌落。从而达到分离的目的。(2) 平板划线分离法:将定量培养基熔化后倒入无菌的培养皿中,凝固后,用接种环取少许分离材料,在培养基表面进行平行、弯曲或扇形多次划线,随着划线次数增多,而将微生物稀释,最终出现单一菌落。以上两种分离法还可以配合选择不同类型的培养基以便获得所需菌株。微生物分离纯化法是研究、开发和利用微生物资源的基本手段之一。

【石碳酸系数】又称酚系数。将某一消毒剂作不同稀释度,在一定的条件下,一定时间内(一般为 10 分钟)致死全部供试微生物的最高稀释度与达到同样效果的酚的最高稀释度的比值。石碳酸系数可指示消毒剂的杀菌能力,数值越大,杀菌能力越强。

【大肠杆菌指数】每升水中含有的大肠杆菌群数。包括大肠杆菌(*E. coli*)、产气肠杆菌(*Enterobacter aerogenes*)和介于以上两种微生物之间的类群。正常情况下,水体中所含的病原微生物较少,

检测较困难，通常利用大肠杆菌群作为污染指示菌，在水的细菌学检查方面具有重要意义。中国生活饮用水卫生标准规定，大肠杆菌指数不得大于 3。

【微生物培养法】根据培养目的和微生物的营养、代谢和生长繁殖的规律，选用最适培养条件进行培养的方法。可将自然界中混杂生活在一起的微生物类群分离开，得到所需的微生物。按微生物生长的必需条件设计出各种培养方法。常用的有：（1）一般培养法，对需氧菌和兼性厌氧菌的培养。（2）二氧化碳培养法，对需 CO_2 环境才能生长的细菌的培养。（3）厌氧培养法，对厌氧菌的培养。按培养目的设计的方法有：（1）纯培养分离法，可从多种微生物的样品中获得纯种微生物。（2）连续培养法，即在培养器中连续补充新鲜培养基和流出大量的代谢产物，使微生物的对数生长期无限延长，以获得大量的菌体及代谢产物。按培养基性质，分有固体培养法和液体培养法。微生物的培养法，在细菌的鉴定和研究、传染病的诊断和防治、生物制品的制备、工农业生产和遗传工程等方面均具有广泛的用途。

【培养基】人工配制的适合微生物生长、繁殖和累积代谢产物所需要的一种混合营养基质。基本成分有碳源、氮源、无机盐类、水和生长因素（如氨基酸、维生素、嘌呤、嘧啶等）。根据各种微生物对营养要求不同和培养细菌的目的不同，可配制出多种类型培养基。如适于培养细菌的牛肉膏、蛋白胨培养基，适于培养霉菌的察氏培养基，适于培养放线菌的高氏一号培养基等。因原料来源不同，可分为天然培养基和合成培养基。前者由天然有机物（如玉米粉、麦芽汁、牛肉膏等）制成；后者用已知成分和性质的

化学药剂（如无机盐类等）制成。按不同用途在基础培养基中可加入其他物质如凝固剂、抑制剂和指示剂等。加入凝固剂（如琼脂等）可制成固体、半固体培养基，用于分离、鉴定和保藏菌种。未加凝固剂为液体培养基，可用于生理研究和发酵工业。加入抑制剂（如胆盐、煌绿、亚硫酸钠等）制成选择培养基，以提高目的菌的检出率。加入指示剂（如酚红、溴甲酚紫、甲基红、伊红、美蓝等）制成鉴别培养基，通过指示剂的显色反应，了解微生物的代谢特点。培养基的配制原则包括，根据微生物的特点选料，注意各种成分的比例，控制适宜的 pH、O₂ 和 CO₂ 浓度及渗透压等。

【连续培养】采用有效的措施让微生物在某特定的环境中保持旺盛生长状态的培养方法。微生物在一定条件下，如果不断补充营养物质和排除有害的代谢产物，理论上，微生物都可保持恒定的对数生长。通常采用两种方式：（1）恒浊培养，当微生物在恒浊器中培养进入对数期时，不断从外界加入新鲜培养基，而同时又流出培养物，用光电池信号控制浊度，以维持恒定的细胞密度。（2）恒化培养，微生物在恒化器中培养，通过控制恒化器中微生物生长所必需营养物的浓度，以保证微生物持续生长。连续培养应用于工业发酵中称连续发酵，并已实际应用，例如，连续发酵法生产酒精，半连续发酵法生产丙酮、丁醇等。

【鉴别培养基】根据微生物的代谢特点，在培养基中加入某种试剂或化学药品，通过培养后发生的变化和指示剂的显色反应，以鉴别不同类型的微生物的一类培养基，如在不含糖的肉汤中，加入各种糖类及指示剂，利用微生物发酵糖类所产生的不同反应来鉴别菌种。将大肠杆菌接种到葡萄糖肉汤、乳糖肉汤、麦芽糖肉汤

中，均可分解各种糖，产生酸和产生气体；而接种伤寒杆菌则只发酵葡萄糖和麦芽糖，只产酸不产气，不发酵乳糖。这些结果可通过指示剂的颜色变化和出现的气泡来判断。伊红-美蓝培养基为常用鉴别培养基，可检测并区分饮水或乳品中是否含有大肠杆菌或产气肠杆菌。

【选择培养基】根据某一种或某一类微生物的特殊营养要求或针对一些物理、化学因子的抗性，而人工配制的适合所需要微生物生长的培养基。经过在选择培养基中培养，可从混杂微生物中分离出所需要的微生物。如以蛋白质为唯一氮源的培养基可分离到产生蛋白酶的微生物，以纤维素作唯一碳源的培养基可分离到分解纤维素的微生物等。另外，在培养基中加入某种化学物质，可抑制不需要的微生物的生长繁殖如分离放线菌时，可在培养基中添加 10% 的酚，以抑制细菌和霉菌的生长；分离酵母和霉菌时，可添加适量的青霉素、四环素或链霉素，以抑制细菌和放线菌的生长。

【基本培养基】能满足野生型或原养型微生物最低营养要求的合成培养基。通常用 [—] 表示，其基本特点是，微生物通过自发突变或诱发突变而形成的营养缺陷型菌株，在基本培养基上不能生长，只有补充必要的营养成份（如氨基酸、维生素和碱基等），才能表现出正常的生命代谢活动。在微生物的诱变育种过程中，尤其是对营养缺陷型的筛选，是必备的一种培养基，而且，它的应用范围越来越广泛。

【完全培养基】在基本培养基中添加定量的营养丰富的天然物质

(如牛肉膏、蛋白胨和酵母膏等), 以满足各种营养缺陷型微生物生长需要的培养基, 通常用 $[+]$ 表示。该培养基是营养缺陷型选育工作的一种必备培养基。

【质粒】很多细菌细胞质内存在的一些微小的环状双股 DNA, 是细菌染色体外的一种遗传物质, 不是细菌生长的必要因素。质粒能独立进行复制, 并有转移到其他细胞中去的能力。能赋予宿主细胞以特殊性状, 通过这些特殊性状可识别质粒, 质粒的种类很多, 如 F 因子、R 因子、大肠杆菌素因子和降解质粒等。F 因子又叫致育因子, 是一个能决定细菌细胞有性别分化的质粒, 有 F 因子的菌株为雄性 (F^+ 菌株), 无 F 因子者为雌性 (F^- 菌株), F^+ 菌株与 F^- 菌株接合, 可把 F 因子转移过去, 使 F^- 菌株变为 F^+ 菌株。R 因子又叫抗药性因子, 它能使宿主细胞具有抗氯霉素、链霉素、四环素和磺胺类药物等多种抗性。通过 R 因子的转移, 可使志贺氏菌、埃希氏菌、克雷伯氏菌、变形杆菌等属的一些关系较近的肠道细菌获得抗性, 这类质粒给抗生素的临床应用带来威胁。降解质粒可使宿主菌产生能降解有机物的相应酶, 而使该菌对多种有机物进行降解。

【R 因子】又称抗药性因子。与抗化学药剂 (主要是抗生素类) 有关的一类质粒。它携带一种或几种抗药基因。存在不同 R 因子的细菌可具有抗氯霉素、链霉素、四环素和磺胺类药物等多种抗性。由承担抗药性转移功能的抗性转移因子和含有抗药基因、能赋予宿主菌以抗药特性的抗性决定因子组成。以上两种因子可独立存在, 也可结合在一起。只有抗性决定因子而无转移因子的 R 因子, 不能以接合方式转移。R 因子使细菌具有多种抗药性的原因, 主要

是：(1) R 因子编码的钝化酶使化学药剂的化学结构发生变化，使之失效。(2) 控制了菌细胞膜的通透性，使药物不能进入细胞内。(3) 阻止药物与细胞内的作用部位结合。R 因子常以接合或转导方式在同一种属或不同种属的细菌中广泛传递，使耐药菌株不断增多，常给临床治疗带来很大困难。

【抗药性】微生物对药物作用的不敏感性或适应性，使微生物可在药物存在的环境中正常生长和繁殖。抗药性的产生主要是遗传变异的结果，通过基因突变或重组，微生物改变了遗传性状，再经自然选择，而建立成抗药群体。抗药机制十分复杂，主要分为：(1) 抗性细胞能产生一些使药物失活的酶；(2) 对药物敏感的位点产生变异；(3) 丧失对药物的渗透性；(4) 增加抗药酶的生成；(5) 形成救护途径等。病原微生物的抗药性是医学界十分关注和重视的研究课题之一。

【F 因子】某些细菌中含有的一种染色体外自主复制的 DNA 因子，是最早发现的一种质粒。化学成分是环状闭合双链 DNA 分子，分子量为 45×10^6 。能编码 40—60 种蛋白质。能决定细菌的性别，含有 F 因子的细菌为雄性菌 (F^+ 菌，供体菌)，不含者为雌性菌 (F^- 菌、受体菌)。细菌接合生殖时，将供体菌的遗传物质转移给受体菌，经过基因重组使受体菌获得供体菌的遗传性状，故亦称致育因子或性因子。在 F^+ 菌群中，多数菌含有游离的 F 因子，仅少数菌的 F 因子能整合到细菌细胞的染色体上，这种菌称高频率重组细菌 (Hfr 菌)。用此种菌进行接合试验时，重组频率比用普通 F^+ 菌株高 1000 倍。

【大肠杆菌素】大肠杆菌 (*E. coli*) 分泌的一类具有杀菌能力的物质。大肠杆菌素的产生受大肠杆菌体内大肠杆菌素因子 (col) 的控制; 其化学本质为肽类或蛋白质; 存在着不同的类型, 如大肠杆菌素 E₃-CA₃₈、E₂-P_q、K-K₂₃₅和 A-CA₃₁等。大肠杆菌素的杀菌能力极强, 尤其是对种内的一些菌体, 但对同株细菌无作用。大肠杆菌素的作用机制有三种可能。(1) 抑制蛋白质的合成; (2) 影响 DNA 的代谢作用; (3) 影响能量流通。除大肠杆菌外, 沙门氏杆菌属 (*Salmonella*) 和志贺氏杆菌属 (*Shigella*) 的某些细菌也能产生大肠杆菌素。

【接合】通过供体菌和受体菌完整细胞间的直接接触而传递大段 DNA 的遗传重组现象。1946 年, 美国科学家莱德伯格在研究两株大肠杆菌营养缺陷型时首次发现。以后相继在沙门氏菌 (*Salmonella*)、志贺氏菌 (*Shigella*)、赛氏杆菌 (*Serratia*)、弧菌 (*Vibrio*)、固氮菌 (*Azotobacter*) 等细菌和链霉菌属 (*Streptomyces*) 和诺卡氏菌属 (*Nocardia*) 等放线菌中发现接合现象。通过对大肠杆菌致育因子 (F 因子) 的研究, 发现了大肠杆菌的几种接合行为和性别分化现象, 例如 F⁺菌株 (含 F 因子) 和 F⁻菌株 (不含 F 因子的菌株) 接触, 可将 F⁻菌株变成 F⁺菌株; Hfr 菌株 (又称高频重组菌株, F 因子能整合于大肠杆菌染色体上) 和 F⁻菌株接触, 重组频率很高, 但 F⁻菌株很难变成 F⁺菌株, 1955 年伍尔曼和雅可布利用此现象创立了中断杂交实验, 成功地研究了大肠杆菌的基因定位, 作出了完整的环状染色体图。所以接合在遗传学研究中具有重要作用。

【转导】以噬菌体为媒介, 携带供体菌的部分基因进入并转给受体

菌，使后者表现出前者部分遗传性状的过程。1952 年，美国科学家津德和莱德伯格在研究鼠伤寒沙门氏菌（*Salmonella typhimurium*）时首次发现，以后相继在大肠杆菌（*E. coli*）、肺炎克氏杆菌（*Klebsiella pneumoniae*）、痢疾志贺氏杆菌（*Shigella dysenteriae*）和金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）等 20 多种细菌中发现有转导现象。转导有两种基本方式：（1）普遍转导，噬菌体在寄主细胞内增殖时以低频率无目的地包裹着寄主的 DNA 片段，形成完全缺陷噬菌体，在感染受体菌时，使带入的 DNA 得以表达。又可细分为完全转导和流产转导。（2）局限转导，通过部分缺陷性温和噬菌体将供体菌特定的某些基因转给受体菌，使后者得以表达的现象。又可分为低频转导和高频转导。转导可用于微生物育种和基因工程研究，亦常用于基因精细结构的分析。

【转化】一个品系生物的细胞直接吸收了另一品系生物细胞的 DNA 片段，通过基因重组，获得了后一品系生物的部分遗传性状的现象。1928 年，英国细菌学家格里菲斯在研究肺炎双球菌（*Diplococcus pneumoniae*）致病性时首次发现；1944 年，艾弗里等人发现了“转化因子”是一定的 DNA 片段，为证实 DNA 是遗传物质打下了基础，以后，在芽孢杆菌属（*Bacillus*）、葡萄球菌属（*Staphylococcus*）和根瘤菌属（*Rhizobium*）等 20 多属种的细菌、酵母菌、霉菌及高等动植物体内皆发现了转化现象。基本过程为双链的 DNA 片段（转化因子）与处于感受态细胞表面特定定位点结合，通常只有经过酶解修饰后，形成分子量为 4.5×10^6 左右的单链 DNA 片段，才能进入细胞并同受体细胞内染色体组上的同源区段配对，通过交换和复制而完成转化过程。转化是在细菌中普

遍存在的一种遗传学现象。已广泛应用于微生物优良品种的选育。基因治疗和基因工程的研究中。

【准性生殖】微生物的一种类似于有性生殖但比有性生殖更原始的生殖方式。在真菌中半知菌类的一些微生物中存在，通过菌丝联结，形成异核体、核融合和体细胞交换等过程完成。不行减数分裂而导致低频率的基因重组。准性生殖可作为重要的育种手段，例如，曾利用准性杂交的方法，获得了灰黄霉素的产生菌——荨麻青霉（*Penicillium urticae*）的高产菌株。

【营养缺陷型】必须在基本培养基中加入相应的营养成分才能正常生长的变异菌株。筛选营养缺陷型一般要经过诱变处理、淘汰野生型、检出和鉴定营养缺陷型等四个环节，营养缺陷菌株在理论研究上是研究代谢途径和各种遗传学现象必不可少的标记菌种，也可以作为氨基酸、维生素或碱基等物质生物测定的试验菌种。在生产实践中，常用作生产菌株和杂交育种中带有特定标记的亲本菌株。

【诱变育种（微生物）】利用物理或化学诱变剂处理微生物，提高突变频率，从中筛选出有益突变株的过程。有两种方式：（1）辐射诱变育种。利用物理因素（如 X 射线、 γ 射线、紫外线、中子、高能电子束等）处理微生物。（2）化学诱变育种。用化学因素（如 5-溴尿嘧啶、2-氨基嘌呤、烷化剂、羟胺、亚硝酸、吖啶类等）处理微生物。诱变机理为通过微生物的染色体畸变和基因点突变（碱基置换和移码突变）造成微生物遗传性状的变化，由于多数微生物的营养体是单倍体，突变一旦产生，即可遗传。微生

物的诱变育种通常要注意出发菌株的选择、诱变剂种类和剂量的选择、诱变方式的选择、筛选和鉴定方法的选择等问题。诱变育种可以提高微生物发酵产品的产量、改进产品质量、扩大品种和简化生产工艺，在抗生素、有机酸和氨基酸等工业发酵中是一种普遍采用的育种手段。

【菌种保藏】使微生物菌株的生活力及其原有性状得以保持的方法。主要是把菌种保存在干燥、低温、缺氧、营养缺乏等对菌生长不利的条件下，使其保持长期的休眠状态。方法较多，常根据不同微生物及不同需要而采用不同的方法。实验室中常用斜面保存法，即把菌接种在固体斜面培养基后，放入 4°C 冰箱内，可保存数月。其他有效的菌种保藏方法还有矿油保存法：在斜面菌种内加入灭菌矿物油或液体石蜡后放入 4°C 冰箱内，可保存 1—2 年；砂土管保藏法：用无菌干燥砂土密封保存的方法，可保存芽孢或孢子达数年之久；冷冻干燥保藏法：用保护剂如血清、脱脂牛奶等与微生物细胞共同在 -20°C 以下低温中冷冻、干燥，然后真空密封，可在室温下保存几年至十几年，这是当今保存菌种最有效的方法之一。菌种保藏是微生物研究和生产中的一项重要工作，国际上许多国家均设立专门的机构，为微生物的研究、交流和微生物发酵工业的发展，提供了方便条件。

植 物

【孢子植物】不开花不产生种子，以各类孢子进行繁殖的各类植物

的总称。即隐花植物。包括藻类、菌类、地衣等低等植物，也包括苔藓和蕨类两门高等植物。

【无胚植物】合子或受精卵不发育成胚，直接分裂产生新的植物体的各类植物的总称。主要包括藻类植物、菌类和地衣。这些植物在植物界中进化水平较低，都属于低等植物。

【有胚植物】受精卵在母体的雌性生殖器官中首先分裂形成胚，再由胚发育产生新一代植物体的各类植物的总称。包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。这些植物在植物界中进化水平较高，都属于高等植物。

【低等植物】植物体没有根茎叶分化、生殖器官多为单细胞，即或为多细胞其外也无不育细胞组成的保护结构（壁），合子或受精卵都不发育成胚的各类植物的总称。包括藻类植物、菌类和地衣。这些植物由于都不形成胚，所以也称做无胚植物。它们在植物界中进化水平较低。

【高等植物】植物体多有根、茎、叶的分化，生殖器官为多细胞构成，且外面有不不育细胞构成的保护结构，受精卵均发育成胚的各类植物的总称。包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。尽管苔藓植物的植物体还不具真正的根茎叶，而仅具假根和拟茎叶，或仅为叶状体，但它们都具备多细胞的生殖器官和胚，所以仍归入高等植物之中。高等植物在植物界中进化水平较高，其中以被子植物的进化水平最高，种类最多，在当今地球上最繁盛。

【隐花植物】没有花结构的植物。包括藻类、菌类、地衣、苔藓和蕨类等全部孢子植物。早在 1753 年林奈在其巨著《植物种志》中就将隐花植物列为一纲，即隐花植物纲，他对该纲特征的描述中写道：“隐花植物含有那些将其生殖器官隐蔽过我们的眼睛的植物，而且具有与其他各类植物不同的构造。”现在通常将隐花植物包括的类群称做孢子植物，以和开花并产生种子的植物相区别。

【显花植物】开花和产生种子的植物。包括裸子植物和被子植物。为植物界中进化水平最高的植物。其中又将具有真正花被和产生果实的被子植物，特称为有花植物。

【原植体植物】植物体没有根、茎、叶分化的各类植物的总称。包括藻类植物、菌类和地衣。1883 年爱克勒首次将以上三类隐花植物合成为原植体植物门 (Thallophyta)。现在早已不采用这一分类等级，而藻类植物和菌类又被分成了多个门。

【茎叶体】有茎叶分化的植物体。见于高等植物各类群，包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。但苔藓植物的植物体（配子体）仅在外观上看有了茎叶的分化（一部分苔类植物仍为叶状体），其内部的组织分化水平很低，还没有维管组织，所以通常把苔藓植物的植物体叫拟茎叶体。植物体有了茎叶的分化是植物界进化发展的重要标志，对于适应陆生生活具有重要意义。

【维管植物】植物体中具有维管组织的各类植物的总称。包括蕨类植物、裸子植物和被子植物。

【果胞】红藻门植物的单细胞的雌性生殖器官。原始种类如紫菜的果胞是由普通营养细胞转化而成，仅在细胞的一端或两端产生 1 个短的喙突，名叫原始受精丝，果胞内有 1 卵。高等红藻中的果胞呈烧瓶状，具 1 个细长的受精丝，下部膨大，内含 1 卵。

【游动孢子】即游孢子。具鞭毛能游动的无性生殖细胞，可直接萌发生成新的植物体。主要存在于一些藻类植物和低等真菌中。不同植物的游动孢子，其形状、鞭毛数目、长短、着生位置和结构类型是不一样的。如绿藻门中的衣藻的游动孢子多为卵形或球形，具 2 条等长、着生细胞顶端的鞭毛；绿藻门中石莼的游动孢子具 4 条、等长、着生细胞顶端的尾鞭型鞭毛；绿藻门中的鞘藻则具数十条、近顶端排列成一圈的尾鞭型鞭毛；褐藻中的海带，其游动孢子为梨形，具两条侧生不等长的鞭毛，1 条长的为茸鞭型，指向前方，一条短的为尾鞭型，指向后方；低等真菌中的单毛水霉属的游动孢子，具 1 条着生细胞后端的尾鞭型鞭毛等。

【鞭毛】细胞表面的细长鞭状原生质突起，其功能为运动、摄食等，某些细菌菌体的一端、两端或周围也有鞭毛。主要类型有尾鞭型、茸鞭型等。

【尾鞭型】鞭毛的一种类型。在电镜下观察，鞭毛表面无茸毛（或鞭茸）。常见于绿藻门、轮藻门游动孢子或精子的鞭毛，高等植物中的苔藓和蕨类的精子均为尾鞭型的鞭毛。还有一些藻类 and 低等真菌的游动细胞具 1 条尾鞭型的鞭毛和 1 条茸鞭型鞭毛。

【茸鞭型】鞭毛的一种类型。在电镜下观察，鞭毛表面具许多羽状

排列的茸毛（或鞭茸）。常见于裸藻、隐藻门的种类。在甲藻、褐藻以及一些低等真菌中，常见在同 1 个游动细胞上具 1 条茸鞭型鞭毛，另 1 条为尾鞭型鞭毛。

【静孢子】即不动孢子。不具鞭毛不能游动的无性生殖细胞。主要指藻类植物中某些种类所产生的不动孢子。如网地藻的四分孢子囊中所产生的孢子。此外有的静孢子在形态上与母体相似，故又将这种静孢子特称为似亲孢子。

【芽生孢子】即芽孢子。以出芽形式进行营养繁殖所产生的一种孢子。常见于真菌门中的酵母菌。芽生孢子的形成过程是在细胞一定部位的细胞壁向外突出，细胞膜和原生质体也随着向外突出，细胞核分成 2 个，一个留在母细胞中，一个进入突起中，形成的突起的过程即为出芽。开始阶段芽仍与母体相连通，以后在与母细胞相连处缢断，芽即变成 1 个孢子，即芽生孢子。芽生孢子从母体上脱离后，直接发育成 1 个新个体。有时出芽生殖进行得很快，所形成的芽孢子还未从母细胞上脱落，又通过出芽产生出芽孢子，甚至可形成由多个细胞连成的假菌丝。

【厚壁孢子】又称厚垣孢子、合壁不动孢子。由营养细胞形成的一种不能游动的、厚壁的无性休眠孢子。这种孢子的明显特征是壁厚，不具鞭毛，贮存有丰富的营养物质，可以抵抗不良环境，能长期休眠，当条件适宜时，它即可萌发产生新个体。一般在母细胞内产生，其细胞壁与母细胞壁融合不分。常见于蓝藻、某些藻类植物和某些真菌。

【节孢子】又称粉孢子。真菌菌丝细胞断裂形成的无性孢子。其形成过程是菌丝顶端停止生长后，菌丝细胞产生多个横隔膜，将菌丝细胞分隔成多个小节段，并在隔膜处断裂，每个菌丝小节段就是一个节孢子。条件适宜时，每个节孢子就可萌发产生一个新的真菌菌丝体。

【孢囊孢子】在孢子囊中产生的一种不能游动的无性孢子。常见于某些低等真菌。如根霉、毛霉、犁头霉等。孢囊孢子一般是由孢子囊中的原生质体以割裂的方式形成。孢囊孢子的数量较多，成熟时孢子囊壁破裂而散出，借气流传播，每个孢子在适宜条件下均可萌发形成一个新的菌丝体。

【果孢子】红藻植物的生活史中所产生的一种二倍体的孢子。低等红藻中果孢子是由受精的果胞（合子）有丝分裂产生的，释放后萌发形成二倍体的丝状体（即壳斑藻），如紫菜；高等红藻中的果孢子是由寄生在雌配子体上的果孢子体（ $2N$ ）产生的，释放后萌发形成四分孢子体（ $2N$ ），如石花菜、江蓠、蜈蚣藻等。

【复大孢子】硅藻有性过程所产生的、体积增大的合子。有的为配子融合而成，有的为精子和卵融合而成。复大孢子的产生对硅藻的种群繁衍具有重要意义，因为硅藻通常以细胞分裂进行繁殖，但每次分裂所产生的子细胞只有 1 个保持母细胞的体积，另 1 个子细胞略比母细胞小些，如此分裂下去，就会产生相当数量的越来越小的细胞，这种现象叫做“缩小分裂”。这对硅藻种族的发展不利。通过有性过程形成合子，并将其体积增大到该种的最大体积，即形成复大孢子。复大孢子再重新分泌细胞壁，形成 1 个和该种

最大体积相同的新个体，以保持该种能够繁衍、进化和发展。

【卵孢子】卵菌类有性过程所产生的二倍体的有性孢子。卵菌类的雌性生殖器官称做藏卵器（或卵囊），其内有 1 至数个卵球，雄性生殖器官称做雄器（或精子囊），常呈棒状或圆柱形，内有多个雄核，然后精核通过授精管流入藏卵器中与卵球融合，每个卵球即形成 1 个合子，特将其称为卵孢子。卵孢子均产生厚壁，一般须在休眠后萌发，经过减数分裂产生出新的菌体。

【接合孢子】真菌门中接合菌类所产生的一种典型的二倍体的有性孢子。是由（+）、（-）两个配偶囊交配所产生的。在接合孢子形成过程中，尽管有多对（+）、（-）核融合，但仍有的核没融合。同时，在融合的多对核中也只有 1 个二倍体的核存活到减数分裂。当接合孢子萌发时，该个二倍体的核进行减数分裂，其中的 1 个单倍体的核进入芽管，并在孢子囊内进行多次有丝分裂产生多个单倍体核，最后形成多个孢子，孢子囊破裂后孢子散出，各自可萌发形成新的菌丝体。

【子囊孢子】子囊菌类有性生殖过程在子囊中所产生的单倍体的有性孢子。子囊孢子的形状多种多样，通常为椭圆形、圆球形或长线形；大多为单胞结构，也有的由多个细胞组成；无色或有色；子囊孢子在子囊中的排列多为单行，也有的为双行或平行排列。子囊孢子从子囊中释放出来以后，萌发出单倍体的有隔菌丝。

【担孢子】担子菌有性过程在担子上产生的单倍体的有性孢子。担孢子均为单细胞结构，但其形态、大小、颜色、表面结构等各种

各样，是担子菌分类的重要依据之一。如双孢蘑菇的担孢子褐色，椭圆形，光滑；鸡枞的担孢子无色、光滑，椭圆形；木耳的担孢子无色、光滑，腊肠形；大马勃的担孢子球形、光滑，有时具细微小疣或具小尖，淡青黄色；头状马勃的担孢子球形，具极细小疣，稍有短柄或短尖，淡青黄色等。

【精子囊】产生精子的雄性生殖器官。主要见于进行卵式生殖的藻类植物，通常都是由 1 个细胞构成，其内的核和细胞质进行多次分裂，产生 1 至多个精子。如团藻的精子囊，其体积比营养细胞大许多倍，经过分裂，每个精子囊可产 64 个精子；再如海带，其雄配子体是由几个至 10 几个（甚至数十个）小细胞构成的，每个细胞就是 1 个精子囊，每个精子囊可产生 1 个精子。

【卵囊】产生卵的雌性生殖器官。主要见于进行卵式生殖的藻类植物。卵囊为单细胞结构，内产 1 卵。如团藻、鞘藻、鞘毛藻、海带等。

【卵囊球】又称藏卵器。轮藻门植物的雌性生殖器官。由多细胞构成，通常有 1 个卵囊，内有 1 卵，卵囊外围以 5 个螺旋状的长管状细胞，每个管状细胞在卵囊的顶端各分隔出 1 个小细胞，叫做冠细胞（共 5 个），统称为冠。但有些种类的每个管状细胞各分隔产生 2 个小的冠细胞，共有 10 个冠细胞排成 2 层形成冠，如丽藻。这种生殖器官在藻类植物中极为特殊，它不仅是由多个细胞构成，而且外面还有 10—15 个不育的细胞（管状细胞和冠细胞）保护着。

【精囊球】又称藏精器。轮藻门植物的雄性生殖器官。由多细胞构

成，通常为球形，桔红色，外面有 8 个盾状细胞，每个盾状细胞里面中央各有 1 个盾柄细胞，每个盾柄细胞的顶端各有 1 个小的头状细胞，每个头状细胞又可产生几个次级头细胞，再从这些次级头细胞产生出许多单列细胞的丝，叫精囊丝，精囊丝的每个细胞就是一个精子囊，其内各产生 1 个精子。精囊球的结构在藻类植物中是极为罕见而特殊的雄性生殖器官，不仅是多细胞的，而且还有许多由不育细胞形成的保护和支持结构。

【异形胞】某些丝状蓝藻的细胞列中由营养细胞转化的一种有固氮作用的细胞。它和营养细胞相比，通常体积较大（也有较小的）；细胞壁明显增厚；细胞质均匀，颗粒状的内含物能溶解；细胞中不含藻胆素。细胞的颜色多呈淡黄色或呈透明状；细胞中含有固氮酶，可直接固定大气中的氮。凡是具有异形胞的蓝藻均可固氮，故在农业上有重要意义，恰似天然氮肥厂。中国南方一些省区的稻田中放养具有异形胞的蓝藻，可使水稻增产 7—15%。具异形胞的蓝藻种类很多，常见的有念珠藻、鱼腥藻、柱孢藻、伪枝藻、单歧藻等。

【菌丝】组成真菌菌丝体的每条管状细丝。真菌的菌丝一般分为两类：一种是无隔菌丝，即管状细丝无横隔膜，内含多个细胞核，低等真菌的菌丝都是无隔菌丝；另一种是有隔菌丝，即菌丝被许多横隔膜将其分隔成多个细胞，每个细胞具 1 至多个细胞核，所有的高等真菌都是由有隔菌丝组成的。但是有隔菌丝的横隔膜在结构上还存在很多差异，如有的横隔膜为全封闭式的，有的横隔膜在中央有 1 个小孔，有的具多个小孔，还有的为隔膜中央的小孔边缘增厚，形成桶状，称做桶孔隔膜等。

【菌丝体】真菌的营养体，是由许多菌丝形成的菌丝团。菌丝体在活跃地进行营养功能的时期为疏松的菌丝团。但在条件不良或其生活史的一定时期菌丝体可以形成各种类型的组织体（常见的菌丝组织体有根状菌素、子座和菌核）。此外，担子菌中，其菌丝体在其生活史的不同发育阶段，由于细胞、遗传、生殖和形态上的特点不同，又将其分为 3 种类型：初生菌丝体，是由担孢子萌发产生的单倍体的单核菌丝体；次生菌丝体，是由（+）、（-）初生菌丝体质配后形成的异核体的双核菌丝体（N+N），这种菌丝体生活时期最长，是担子菌的主要营养体；三生菌丝体，是组成子实体的有一定组织化的双核菌丝体。

【菌核】某些高等真菌由菌丝体形成的一种组织体，为一种坚硬的核状体。菌核在形状、颜色和大小上有很大差异，最小的菌核如小米粒，大者可重达 15 公斤，如雷丸。菌核的内部结构一般分为内外两层，外层是由 1 至数层紧密交织的具有厚壁的菌丝组成的皮层，色深，内层由许多无色菌丝交织而成。菌核是一种休眠体，可以抵抗干旱、耐高温和寒冷等不良环境，条件适宜时可萌发成菌丝体或子实体。许多菌核为著名药材。如麦角，是妇科常用药；茯苓的菌核可治小便不利、水肿腹泻、心悸失眠等症；猪苓的菌核可利尿渗湿，可治水肿、脚气、小便不利、泌尿系统感染和腹泻等症。

【子座】某些高等真菌菌丝体形成的一种组织体，是容纳子实体的褥座。其形状通常为垫状、柱状、棒状、头状等。可由菌丝单独形成，也可由菌丝和寄主组织共同形成。子座形成后，在其内部

或上部形成子实体。常见的子座如子囊菌纲中的竹黄、冬虫夏草等，也是著名的药材。竹黄有活血散淤、通经活络、镇惊、化痰止咳和补血之功；冬虫夏草有补肺益身，止咳化痰之效，可用于治疗虚癆咳血、阳萎遗精、腰膝酸痛、神经痛和肺结核等症。

【根状菌索】某些高等真菌由菌丝体形成的一种组织体，其外观似根，故名。其顶端可不断生长。菌索一般是由菌丝平行排列交织而成，外层为皮层，由数层小型厚壁的菌丝组成，内部为菌髓，是由疏松的薄壁的菌丝组成。根状菌索一般生于树皮或地下，常见于多种木材腐朽菌，如假蜜环菌即在树皮或地下形成。根状菌索可抵抗不良环境，环境条件恶劣时停止生长，适宜时又可恢复生长。

【腐生】从死亡的动植物等生物的尸体、半分解的尸体或它们的制品和提取品中，取得养料的营养方式。很多细菌和真菌属于此类，如枯草杆菌、根霉、双孢蘑菇、平菇等。腐生真菌获取养料的基本过程是首先分泌多种水解酶，如淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶、纤维素酶等，将大分子有机物分解成简单的小分子有机物，并使其成溶解状态，然后再借助于菌丝体的较高渗透压把养分吸收。一般说，腐生真菌的渗透压都较高，如匍枝根霉能忍受的最高渗透压为 63 个大气压。

【寄生】生活在活的生物（包括动物、植物和人等）体上或体内，直接从生物体上吸取养料的营养方式。多见于一些寄生细菌（如痢疾杆菌、结核杆菌、伤寒杆菌等）、寄生真菌（如白粉菌、锈菌、黑粉菌等）、寄生虫（如蛔虫、绦虫、血吸虫、蛲虫、线虫等无脊椎动物）。高等植物中也有极少数种类营寄生生活，如菟丝子、列

当等。寄生生物都对寄主带来严重危害，甚至造成寄主死亡。

【共生】通常为两种（罕 3 种）不同的生物以各种方式组成的互相依存的生活方式。通常有以下 5 类生物共生现象：（1）蓝藻和绿藻的一些种类与真菌共生，形成一类特殊的生物，即地衣，其中的真菌为藻类提供水分和无机盐，藻类进行光合作用，可为真菌提供有机物；（2）某些藻类可与一些动物共生，如小球藻与草履虫共生，小球藻与海葵共生；（3）蓝藻和其他高等植物共生，如鱼腥藻和满江红共生，念珠藻与角苔共生，念珠藻与苏铁共生；（4）真菌与高等植物共生形成菌根，或真菌与某些蕨类植物的配子体共生；（5）固氮细菌，与豆科植物共生形成根瘤等。各种生物的共生关系是在自然界长期发展中形成的，而且并非任意两种生物都可以共生，一旦形成共生关系的两种生物彼此依赖不能分开，否则，在自然条件下二者则不能存活或一方不能存活，另一方生活也不正常。

【菌根】高等植物的根与土壤中的菌根菌共生所形成的结合体。菌根菌的种类很多，在真菌门中的鞭毛菌、接合菌、子囊菌、担子菌和半知菌各类中均有。能够形成菌根的植物也很多，广布于裸子植物、被子植物和蕨类植物中。菌根可分为两类，（1）外生菌根，菌丝生于根部胞间隙，并在根表交织成套状体，如栎属、栗属等植物的菌根；（2）内生菌根，菌丝生于根部的细胞内，如兰科等植物的菌根。此外，也有的在同一个植物的根上既有内生又有外生的菌根菌。菌根对植物的生活和生产实践有重要意义，庞大的菌根菌以其巨大的吸收面可帮助植物吸收水分和养料，特别是真菌可分泌过氧化氢酶、蛋白酶等多种酶类，以分解不溶解的

有机物和矿物，使其变成植物可吸收利用的养料。树木之所以能在石缝里或泥炭上生长，主要就是依靠菌根菌的帮助。在兰科植物中，若没有适合的菌根菌，其种子很难发芽，或幼苗发育也不正常，有些种类如天麻，若无菌根菌就会停止生长，甚至死亡。另一方面菌根菌也从植物的根中获得糖类、硫胺素等营养，以满足自身生长的需要。

【子实体】通常指高等真菌产生和容纳有性孢子的、由菌丝体形成的高度组织化的结构。子实体基本由包被（支持和保护结构）和子实层（产生有性孢子的结构）两部分组成。见于高等子囊菌和担子菌。子囊菌子实体的包被部分是由营养菌丝（N）形成的，子实层由子囊和侧丝（隔丝）整齐地排列成一层所形成，在子囊内产生单倍体的子囊孢子（有性孢子），子囊是由质配等一系列的复杂的有性过程产生的（子实体的形状、类型参见“子囊果”）。担子菌子实体的支持和保护结构是由三生菌丝体（N+N）组成的。子实层由担子和侧丝（隔丝）构成，担子上产生担孢子（有性孢子）（N）。子囊菌和担子菌的子实体形态各异。子囊菌的子实体特称为子囊果，担子菌的子实体特称为担子果。

【子实层】子囊菌和担子菌子实体上产生有性孢子的结构。子囊菌的子实层是由子囊和侧丝（隔丝）组成的，它们整齐地排列成一层。子囊内核配后立即进行减数分裂，多数情况下 4 个单倍体的核又各自进行 1 次有丝分裂，所以多数种类的子囊中产生 8 个子囊孢子。侧丝主要是由营养菌丝形成的。担子菌的子实层是由担子和侧丝组成的，有些伞菌种类还有各种大型细胞，即隔胞（囊状体），担子、侧丝和隔胞整齐地排列为一层栅栏状。担子中核配

后，立即行减数分裂，多数种类的每个担子都产生 4 个外生的担孢子。

【子囊果】子囊菌子实体的特称，是高等子囊菌经过有性过程所产生的一种容纳子囊和子囊孢子的组织结构。子囊果主要由子实层（子囊和侧丝组成）和包被组成。子囊果通常分为三种类型（见图）：（1）闭囊壳，球形，无开口，子实层被封闭在包被里面，如白粉菌类等；（2）子囊壳，烧瓶状，顶端有 1 个小开口，子实层在子囊壳的里面，如冬虫夏草、麦角菌等；（3）子囊盘，盘状或杯状，子实层生于子囊盘的上面，完全暴露，如盘菌属等。

子囊果的类型

a—b：闭囊壳（a. 外观，b. 剖面观）

c—d：子囊壳（c. 外观，d. 剖面观）

e—f：子囊盘（e. 外观，f. 剖面观）

【担子果】担子菌的子实体，是担子菌产生和容纳担子和担孢子的

高度组织化的结构。担子果的形状、大小、颜色、质地等各式各样，如伞状（蘑菇、鬼伞、香菇、牛肝菌等），笔状（鬼笔类），头状（猴头），半圆形（树舌等），丛瓣状胶质（银耳），球形或陀螺形（马勃类），木质、有漆样光泽（灵芝）等。很多担子果可食用，如蘑菇、香菇、金针菇、平菇、草菇、竹荪、木耳、银耳等，有些可药用，如茯苓、猪苓、灵芝、蜜环菌、树舌、云芝等；也有少数有毒，如毒伞、白毒伞、毒红菇、豹斑毒伞、褐鳞小伞等。

【菌盖】常指担子菌中伞状子实体顶端呈伞形的结构，所以也称菌伞（见图）。菌盖是由表皮、菌肉和菌褶（或菌管）3部分组成的，在菌褶的两面或菌盖下面，菌管的内壁上产生担孢子。不同种类的菌盖，在大小、颜色、形状、质地、厚薄等方面是不同的。如双孢蘑菇为白色；香菇为菱色至肉桂色，上有鳞片；毒伞为棕褐色、暗绿色，并有不明显的放射状的隐条纹等。

1. 菌盖 2. 菌褶 3. 菌环

4. 菌柄 5. 菌托

【菌褶】又称子实层体。伞菌类菌盖下方产生子实层的膜片。菌褶

的上方连着菌肉。菌褶是由子实层、子实层基和菌髓³部分组成，子实层生于菌褶的两面，子实层基是子实层下方由近于等径的菌丝细胞所组成，菌髓是菌褶中央由较疏松菌丝所组成。菌褶的颜色、长短、宽窄、各种各样，菌褶和菌柄的着生关系可分为⁴种类型：（1）菌褶的内端直接着生在菌柄上，称为直生，如铜绿菇；（2）菌褶内端一部分着生在菌柄上，另一部分稍向上弯曲的称为弯生或凹生，如香菇、棕灰口蘑等；（3）菌褶内端不与菌柄相连，叫离生，如双孢蘑菇、白毒伞等；（4）菌褶内端沿着菌柄向下延伸，叫延生，如侧耳、铆钉菇等。菌褶的各种形态特征都是伞菌分类的重要依据。

【菌环】某些伞菌类子实体菌柄上由内菌幕的残留部分形成的膜质环状结构。子实体形成的幼期，在菌盖与菌柄之间有膜相连，此膜即内菌幕。当菌柄开始伸长，菌盖逐渐张开时，内菌幕即被拉破，残留在菌柄上的内菌幕形成菌环。菌环多呈膜质，少数呈蛛网状，如丝膜菌，多单层，少数为双层，如双环林地菇等；有的菌环生于菌柄上部，有的生于菌柄中部或下部，有的菌环可在菌柄上上下下移动，如高环柄菇。常见具菌环的种类如蘑菇属、环锈伞属、环柄菇属、蜜环菌等。

【菌柄】高等真菌子实体的柄部。见于部分子囊菌和许多担子菌。不同的种类其菌柄的形状、颜色、长短、有否分枝、质地以及表面有无附属物等均有所不同。如圆柱形（花褶伞属等）、粗筒形（牛肝菌等）、菌柄基部稍膨大（口蘑等）、菌柄基部延伸成假根状（长根菇等）、基部膨大成球形（毒蝇伞等）、菌柄有分枝（猪苓等）、菌柄光滑（双孢蘑菇等）、菌环以下部分具鳞片（香菇等）、

菌柄中空（如晶粒鬼伞等）、菌柄内实（松口蘑等）。此外，菌柄与菌盖着生的关系也有多种类型，生于菌盖中央者为中生，如鬼伞属、蘑菇属等；生于菌盖偏离中央位置者为侧生，如侧耳属等；生于菌盖一边者为边生，如革耳属等。菌柄的各种形态上的特征都是真菌分类上的重要依据。

【菌托】某些担子菌子实体的菌柄基部，由外菌幕的残留部分形成的结构。子实体形成初期，外面包被的膜即为外菌幕，当菌柄伸长菌盖张开时，外菌幕被撕破，残留在菌柄基部的外菌幕形成了各种形式的菌托。如苞状、鞘状、杯状、杵状，有的为数圈颗粒等。常见具菌托的种类如草菇、鬼笔、包脚黑褶伞等。此外，在担子菌中有些种类既有菌环又有菌托，如毒伞、白毒伞、豹斑毒伞、橙盖伞、毒蝇伞、块鳞青毒伞等。有些担子菌的菌柄上既无菌环，又无菌托，如蜡伞属、皮伞属、长根菇等。

【核配】植物有性生殖过程中两个性细胞细胞核的融合。多数植物在有性过程中其质配（细胞质的融合）和核配是相继进行的，但在子囊菌，特别是在担子菌中，两个细胞的细胞质融合和细胞核的融合在时间上和空间上明显间隔开了。如子囊菌的质配在性过程的初期已经进行，而核配至子囊形成后在子囊中才进行。担子菌则二者间隔得更远更明显，它们的质配早在初生菌丝体阶段的两个菌丝细胞之间发生了，而核配至子实体产生，在担子中才进行。

【质配】植物有性生殖过程中两个细胞的细胞质进行的融合。而此时细胞核尚未融合。在通常情况下，质配与核配是相继进行的，但

在高等真菌中，质配先进行，至相当的发育过程之后才行核配。参见“核配”。

【墨角藻黄素】即岩藻黄素。褐藻等一些藻类植物所含的一种褐色的光合辅助色素，为叶黄素类中的 1 种。由于褐藻的色素体中含有较多的墨角藻黄素，而掩盖了叶绿素的绿色，所以其藻体大多呈褐色。该种色素的吸收光谱为 500—540 纳米，能吸收绿光和蓝光，并将光能传递给叶绿素，用以进行光合作用。由于绿光和蓝光能透入较深的海水中，所以大多数褐藻能在较深海底生活。它们常可在潮间带下 10—20 米深处大量生长。除褐藻外，含有墨角藻黄素的还有金藻和硅藻等。

【裸藻淀粉】即副淀粉。主要为裸藻细胞中贮存的一种高分子量的碳水化合物。其形状、大小多种，外有一层膜围绕，由 β -1, 3 葡萄糖残基组成，水溶性，遇碘不变色。溶于硫酸和氢氧化钾，用稀氢氧化钾处理可见有同心环。

【黄曲霉毒素】某些黄曲霉和寄生曲霉产生的一种肝毒素。它对动物有极强的毒性和高度的致癌性。目前已分离出 B_1 、 B_2 等几种衍生物，其中以 B_1 的毒性最强。各种黄曲霉毒素的结构类似，都含有 1 个糠酸呋喃的基本毒性结构和 1 个氧杂萘邻酮结构。纯黄曲霉毒素不溶于水、乙烷、乙醚、石油醚等，而溶于氯仿、甲醇、苯、丙酮等有机溶剂。1960 年英国曾发生震动世界的 10 万只火鸡突然死亡的事件，就是因为饲料中有黄曲霉毒素，中毒症状为食欲不振，走路摇摆，羽翼下垂，昏睡，1 周后死亡。解剖观察，肝出血坏死，胆管上皮伸长，胆囊淤血，肾肥大。1966 年联合国世界

卫生组织规定：食品中的黄曲霉毒素最高含量为每公斤 30 微克。花生、大豆对黄曲霉毒素的感染率最高，其次是大米和棉籽等。中国卫生部规定在玉米、花生、花生油及其制品中的含量不得超过 20ppb ($1\text{ppb}=10^{-9}$)，大米、食用油（不包括花生油）不得超过 10ppb，其他粮食、豆类、发酵食品不得超过 5ppb，婴儿食品中不得检出。

【藻胆蛋白】紧密地和水溶性的藻胆素结合在一起的蛋白质，有时称其为色素蛋白。藻胆蛋白分子由辅基和脱辅基蛋白两部分组成，辅基部分为藻胆素（包括蓝色的藻蓝素、别藻蓝素和红色的藻红素）或称发色团，它是由四吡咯环组成的链，分子中不含金属；脱辅基蛋白是藻胆蛋白分子中的蛋白质部分，辅基（藻胆素）和脱辅基蛋白以共价键紧密地结合在一起，而且很难将二者分开，所以将其称为藻胆蛋白。藻胆素是一类溶于水的光合辅助色素，其中的藻蓝素主要吸收橙黄光，藻红素主要吸收绿光，它们可把吸收的光能传递给叶绿素而用于光合作用。含藻胆蛋白的植物主要存在于蓝藻、红藻和隐藻，蓝藻和红藻中的藻胆蛋白分布在类囊体膜的表面，而隐藻的藻胆蛋白则分布在类囊体膜的里面。

【藻红蛋白】仅有藻红素和蛋白质以共价键紧密连结起来的色素蛋白。主要存在于蓝藻、红藻和隐藻中。其中的藻红素又可分为 C-藻红素和 R-藻红素，前者主要存在于蓝藻中，后者主要存在于红藻中。在隐藻中以上两种均存在。其功用为吸收光（绿色）能和传递光能。

【中央质】又称中央体。蓝藻细胞中，位于细胞中央含有核质的区

域。在电镜下观察，其核质主要为细纤维状的 DNA 分子组成，没有组蛋白与之结合，既无核膜，亦无核仁，但具有核的功能。

【色素质】又称周质。蓝藻细胞中位于中央质四周的细胞质，和中央质没有明显界限。在色素质中含有叶绿素 a 、类胡萝卜素、藻胆素等多种光合色素；在电镜下可见有许多呈单条排列的类囊体（即光合膜），光合色素附于其表面；含有核糖体和各种酶类；还有蓝藻淀粉、蓝藻颗粒体、类脂小体等贮藏物质。蓝藻的光合作用和呼吸作用，氮碳同化和异化的一系列生理生化活动都在色素质中进行。

【藻胆素】水溶性的光合辅助色素。是藻蓝素、别藻蓝素和藻红素的总称。前两种为蓝色，后一种为红色。藻胆素吸收和传递光能的途径是光能→藻红素→藻蓝素→别藻蓝素→叶绿素 a 。藻胆素主要存在于蓝藻、红藻和隐藻中。

【藻蓝蛋白】仅有藻蓝素（蓝色）和蛋白质以共价链紧密连接起来的色素蛋白。主要存在于蓝藻、红藻和隐藻中。藻蓝素通常也分为 C-藻蓝素和 R-藻蓝素，前者主要存在于蓝藻中，后者则主要存在于红藻中，隐藻中该两种都有。其功用为吸收光（橙黄色）能和传递光能。

【红藻淀粉】高分子量的碳水化合物。为贮存于红藻细胞中的光合产物，和高等植物中的直链淀粉类似。用碘液可将其染成紫色（莖菜色、紫罗兰色），也和动物中的肝糖的显色反应类似。红藻淀粉为 0.5—25 微米直径的球形颗粒，贮存于红藻细胞质中。

【蓝藻淀粉】蓝藻细胞中贮存的一种高分子量的碳水化合物，和糖元的结构类似，约含葡萄糖分子 2400—24000 个。蓝藻淀粉呈细小颗粒状，形状多有不同，遇碘呈淡红褐色。

【褐藻酸盐】从褐藻中提取的褐藻酸的盐类。褐藻酸为多聚甘露糖醛酸和多聚古罗糖醛酸构成的高分子化合物，褐藻酸的盐类主要是钠盐。褐藻酸盐的用途很广，如在食品工业中可作稳定剂；纺织工业上用作浆料代替淀粉。在天然橡胶和综合橡胶乳剂中作为一种结成乳皮促使安定的媒介剂；在医药上可用作抗凝剂、止血剂、代用血浆，并可用来制成止血纱布、止血海绵等，据报道褐藻酸钠对放射性锶和其他放射性同位素有阻吸作用等。用来提取褐藻酸盐的褐藻主要是一些大型种类，如海带、马尾藻等。

【琼脂】又称琼胶、冻粉。从石花菜、江蓠等一些红藻植物中提制的多糖物质。其主要成分为多聚半乳糖的硫酸酯。制成的商品有条状和粉状两种。琼脂的最有用特性，是它熔点和凝点之间相差很大。在水中需加热至 95℃ 时才开始熔化，熔化后的溶液需降至 40℃ 时才开始凝固。所以它是配制固体培养基的最好凝固剂。在植物组织培养和其他生物培养中应用最广。

【地衣酸】地衣植物的次生代谢产物，主要是缩酚（羧）酸类化合物。地衣酸有多种，其中有缩酚（羧）酸、缩酚（羧）酮、二苯并呋喃、间苯三酚衍生物、螺缩酚（羧）酮等几种主要类型。地衣酸在地衣体内的分布部位有高度专化性，如具有各种颜色的绝大部分蒽醌、枕酸的衍生物、松萝酸以及无色的黑茶渍素等，都

贮存于地衣的皮层中，所以使地衣表现出各种不同的颜色。而绝大部分缩酚（羧）酸和缩酚（羧）酮则贮存于地衣体的髓层中。地衣酸在医学上有重要用途，如去甲环萆酸、袋衣酸、小红石蕊酸、松萆酸等对革兰氏阳性细菌和结核杆菌具有较强抗菌活性，茶痂衣酸有抗癌活性。地衣酸可促使岩石风化，加速土壤形成。此外，由于不同的地衣酸对一定的试剂可发不同的显色反应，所以通过显色试验可以鉴别地衣的种类，对地衣的分类研究有重要意义。

【原丝体】苔藓植物的孢子萌发产生的绿色丝状体。每个细胞中含有叶绿体和 1 个细胞核。大多数原丝体呈丝状，如葫芦藓等，但也有的呈片状（扁萐苔等）或卵圆形（合叶苔、耳叶苔）。一般说藓类植物的原丝体发达，由 1 个孢子萌发产生的原丝体以后可发育出多个配子体，而苔类植物的原丝体不发达，每个孢子产生的原丝体仅可发育成 1 个配子体。原丝体的生存时间大多较短，产生配子体后即逐渐枯萎；但也有少数种类的原丝体生活时期较长，如小金发藓属等。

【孢蒴】苔藓植物孢子体的最重要组成部分，是其产生孢子的结构。苔纲、角苔纲和藓纲植物的孢蒴在结构上有明显差异。如苔纲的孢蒴无蒴盖、蒴齿、环带和蒴轴，但孢蒴内有弹丝，孢蒴开裂的方式为纵裂或不规则裂开；角苔纲的孢蒴为长角状，亦无蒴盖、蒴齿和环带，但有蒴轴和弹丝；藓纲的孢蒴由蒴盖、蒴壶和蒴台三部分组成，大多具有蒴轴、蒴齿和环带，但无弹丝，开裂方式为盖裂，即由于环带脱落引起蒴盖脱落而使孢蒴开裂。此外，不同种类的孢蒴在形态、大小、生长状态等方面均有所差异。

【蒴帽】藓类植物孢蒴上的帽状物。由颈卵器的残留部分形成。由于颈卵器中的卵受精后立即进行细胞分裂，发育成胚，至幼孢子体阶段发育更快，蒴柄迅速伸长，致使颈卵器从腹部的近基部处断裂，但它仍罩在孢蒴上而不脱落，最后形成罩覆于孢蒴上的蒴帽。不同的藓类植物其蒴帽的形态各不同。蒴帽极易脱落，特别是在孢蒴成熟时常因风吹雨打或其他机械碰撞而脱掉。

【蒴盖】藓类植物孢蒴顶部的盖状结构。不同的藓类蒴盖的形状各不同。大多数藓类植物的蒴盖借一圈环带与蒴壶相连，所以当孢蒴成熟、环带自行脱落时，蒴盖也随之脱落。蒴盖脱落后孢子才能散出。藓类植物孢蒴的这种开裂方式称为盖裂。

【蒴齿】藓类植物孢蒴的蒴壶口部的齿状结构。其特性是具有水湿运动。即在环境潮湿时蒴齿尖端内弯，可与孢蒴中的孢子接触，环境干燥时，蒴齿尖端则向外反卷，而将孢子带出。所以其主要功用是有助于孢子散发。不同的藓类蒴齿的数目、层数、形状和结构等均有所不同，如葫芦藓的蒴齿为两层，各为 16 片；小金发藓为单层，32 片；四齿藓为单层，4 片；紫萁藓的蒴齿紫褐色，齿片具 2—3 裂，还具疣；砂藓的蒴齿呈线形等。

【颈卵器】苔藓、蕨类和大多数裸子植物的雌性生殖器官。颈卵器为多细胞结构，外观上常呈长颈烧瓶状，分为颈部和腹部两大部分（见图）。颈部细长，外有数列细胞围成的壁，中央为颈沟，颈沟中有 1 列颈沟细胞；腹部膨大，外为壁层，内含 1 卵，在卵细胞与最下 1 个颈沟细胞间还有 1 个腹沟细胞。受精之前颈沟细胞和腹沟细胞均解体。精子由颈沟、腹沟进入腹部与卵融合。受精

卵在颈卵器中分裂形成胚。但苔藓、蕨类和裸子植物的颈卵器结构有一定差异，苔藓植物的颈卵器发达，颈部细长，颈沟细胞多，腹部不埋入；蕨类植物的颈部变短，颈沟细胞减少，腹部埋入配子体中；裸子植物的颈卵器明显减退，大多仅有 4 个（少为 8 个）颈细胞，无颈沟细胞，还有 1 个腹沟细胞，腹部仅有 1 个卵细胞。高等的裸子植物颈卵器已完全退化。

颈卵器的结构

- a. 颈沟细胞和腹沟细胞均存在的时期
- b. 颈沟细胞和腹沟细胞在受精前解体
 - (1. 颈卵器的壁 2. 颈沟细胞
 - 3. 腹沟细胞 4. 卵细胞)

【精子器】产生精子的多细胞的雄性生殖器官。主要见于苔藓和蕨类植物的配子体。形状为球形或棒状，外有多个不育细胞构成的壁，内产具鞭毛的精子。

【孢子体】在生活史具世代交替的植物中，产生孢子的二倍体的植物体。不同的植物其孢子体的形态、大小和营养方式也不同，如

绿藻中的石莼，其孢子体和配子体的形态大小无明显差异，均为叶状体，绿色自养。褐藻中的海带，孢子体大型，褐色，自养，由带片、带柄和固着器 3 部分组成。苔藓植物的孢子体都由孢蒴、蒴柄和基足 3 部分组成，寄生在配子体上。蕨类植物的孢子体具维管组织和根、茎、叶分化，绿色，自养。种子植物的孢子体更加发达，组织分化程度更高，形态各式各样，绿色，自养。可见植物界的孢子体是向着越来越发达的方向发展的。

【配子体】在生活史具世代交替的植物中，产生配子的单倍体的植物体。不同的植物其配子体的形态、大小和营养方式等也不同，如绿藻中的石莼，配子体和孢子体一样，均为叶状体，绿色自养。褐藻中的海带配子体则很微小，雌配子体常为 1 个细胞或几个细胞，雄配子体常为几个至 10 多个较小的细胞组成。雌、雄配子体均为褐色、自养。苔藓植物的配子体叶状或为茎叶体，绿色，自养；蕨类植物的配子体微小，多绿色，自养，多为心形。种子植物的配子体更趋退化，雄配子体为花粉粒，传粉后形成花粉管，仅由 2—3 或 3—4 个细胞组成，雌配子体在裸子植物中由数千个细胞组成，被子植物中一般退化为“7 个细胞 8 个核”（即胚囊），而且种子植物的雌、雄配子体均寄生在孢子体上。可见植物界中配子体是向着越来越退化的方向发展的。

【世代交替】植物的生活史中，二倍体的孢子体世代（又称无性世代）和单倍体的配子体世代（又称有性世代）有规律地相互交替的现象。植物界中的部分绿藻、绝大多数红藻和褐藻、全部高等植物（包括苔藓、蕨类、裸子和被子植物）的生活史均具有世代交替。世代交替又可分为两种基本类型，一为同形世代交替，即

孢子体和配子体在形态大小上类似，仅在细胞学上和生理上有所不同，如石莼等；另一类型为异形世代交替，即孢子体和配子体在形态结构和大小上也有明显差异。其中又分为孢子体发达的异形世代交替和配子体发达的异形世代交替。前者为孢子体大型，结构复杂，生活时期长，配子体弱小，生活时期短，如海带等藻类植物和蕨类、种子植物；后者相反，为配子体发达，体较大，孢子体弱小，如紫菜等，或不能独立生活而寄生在配子体上，如苔藓植物。

【孢子叶球】又称孢子叶穗。为孢子叶密集于枝末端而形成球状或穗状的结构。见于某些蕨类植物和裸子植物。如蕨类植物中的石松亚门和楔叶亚门的植物，它们的孢子体均产生孢子叶球。裸子植物中的苏铁纲、银杏纲、松柏纲和被子植物纲（买麻藤纲）也形成孢子叶球，通常称为球花。

【叶状体】植物体呈叶片状，无根茎叶的分化。大多为低等植物中的一种植物体类型，在高等植物中仅有少数苔类植物为叶状体。不同的植物，其叶状体的大小、厚薄、组织分化程度、颜色等各不相同。如紫菜，其叶状体极薄，大多只有一层细胞厚，紫红色；石莼的叶状体由二层细胞组成，绿色；而地钱的叶状体虽小，但是由多层组织构成，包括上、下表皮、同化组织、贮藏组织、假根、鳞片等。尽管如此，叶状体类型的植物体进化水平较低，对陆生环境的适应远不如茎叶体植物。

【原叶体】蕨类植物的配子体。微小，大多生活时期较短，无根、茎、叶的分化，仅具假根。其上产生精子器和颈卵器，在有水的

条件下完成受精过程。当受精卵分裂发育成胚、幼孢子体长出后，原叶体逐渐枯萎。不同的蕨类其原叶体的形态、大小和营养方式也有差异。如松叶蕨的原叶体呈不规则圆柱状，埋入土中，无叶绿体，体内具维管组织，有真菌与其共生；石松类的原叶体呈长圆形、胡萝卜状或圆盘状，在土中生长的部分均为无色或黄色到褐色，而暴露在地表的部分为绿色，也有真菌共生；木贼类的原叶体为垫状，具直立的带状分枝，绿色自养；真蕨类的原叶体多为心形，绿色自养，也有的呈丝状或带状。

【孢子果】一些水生蕨类的孢子囊群，由特化的羽片或囊群盖包被所形成的一种卵形、肾形或球形体，如苹属的孢子果的壁为羽片特化而成，内含多个孢子囊群，每个孢子囊群中杂生有大、小孢子囊；再如槐叶苹的孢子果球形，孢子果的壁由囊群盖特化而成，而且有大小孢子果之分，大孢子果的体积稍小，内含少数大孢子囊，小孢子果稍大，内含多个小孢子囊；满江红的孢子果的壁也是由囊群盖特化而成，也有大、小孢子果之分，大孢子果较小，内含1个大孢子囊，每个大孢子囊中仅产1个大孢子，小孢子果较大，内有多数小孢子囊，每个小孢子囊中产生64个小孢子。

【原生中柱】一种原始的中柱类型。没有髓，仅由初生木质部和初生韧皮部组成。原生中柱又包括3种类型：（1）单中柱，最原始的中柱，为中央的初生木质部及包围木质部外面的初生韧皮部组成的实心柱，如莱尼蕨等。（2）星状中柱，其特点是从横切面观中央的木质部向四周突出呈星状，如松叶蕨等。（3）编织中柱，其特点是木质部排成纵向的片，纵片可以互相连接，从横切面观，片状的木质部与韧皮部相间交织排列，如石松等。

【网状中柱】中央具髓的一种进化类型的中柱，由管状中柱进一步演化而来。其特点是叶隙大，1个叶隙同另一个叶隙有部分重叠。从横切面观，维管系统分隔成束，每束均由韧皮部包围木质部；从立体观，包围髓柱的各维管束互相联结，形成一种筒形的网状结构，如真蕨类植物中的铁线蕨等许多种类。

【管状中柱】中央具髓的一种进化类型的中柱。这种中柱的维管组织围绕在中央髓的外面形成管状，具叶隙。根据初生木质部和韧皮部排列的情况，管状中柱又分为3种类型。(1) 外韧管状中柱，即韧皮部位于木质部的外方。(2) 双韧管状中柱，即韧皮部位于木质部的内、外方，如碗蕨等。(3) 周韧管状中柱，即木质部被韧皮部全部包围，如水龙骨等。

【具节中柱】木贼型的外韧管状中柱。见于蕨类植物楔叶亚门的种类。如木贼、问荆和节节草等。从茎的节间横切面观察，其维管柱有一圈环状排列的维管束，每个维管束通常和茎表面突出的脊相对。初生韧皮部位于维管束的外方，初生木质部中的原生木质部分子由于节间的伸长而被破坏，形成1个腔隙，称为脊腔或脊沟。每个脊腔均位于维管束的内方，与初生韧皮部相对。茎的中央为髓部，成熟时形成1个大的髓腔。

【木本植物】茎内木质发达，木质化细胞较多的植物。全部多年生。种类包括乔木（如松树等）、灌木（包括1米以下的小灌木如六月雪）、介于木本与草本之间的半灌木（或称亚灌木如木贼麻黄等）和木质藤本（如葡萄等）。在冬季或旱季落叶的，分别为落叶乔木、

落叶灌木和落叶藤本；反之，在冬季或旱季不落叶的，则分别为常绿乔木、常绿灌木和常绿藤本。木本植物与草本植物的根本区别在前者的地上茎干一般当年不死。然而地上部分的生长发育并非终年不断，只是春夏秋三季旺盛，冬季变得微弱，呈休眠状态。有的热带植物在旱季也有休眠现象。

【乔木】具有明显直立主干，高 5 米以上，木质部发达，有较定型树冠的多年生木本植物。按乔木的高矮分为：高 25 米以上称大乔木；高 8—25 米之间称中乔木；在 8 米以下称小乔木。按叶子的脱落程度又分为：（1）叶片全年不落、终年常青的乔木，称常绿乔木，这种乔木的叶片，一般可活 2—3 年或更长，每年都有老叶脱落，新叶长出而四季常青，如榕树、樟树、马尾松、柚、侧柏等；（2）每年在秋冬干旱寒冷季节全部落叶的乔木，称为落叶乔木，一般是指温带的落叶乔木，如银杏、梨、苹果、山楂、梧桐等。

【灌木】没有明显的主干，高 5 米以下的多年生木本植物，常在近基部生长出多个粗细相似的枝干，一般较乔木矮小，丛生。灌木的种类很多，有的是药用植物，如连翘、枸杞和刺五加；有的是蜜源植物，如荆条、黄刺梅和紫穗槐；有的是园庭绿化植物如迎春、玫瑰和珍珠梅等；还有的是抗旱、耐盐碱的沙荒植物，如梭梭、多花怪柳、细穗红柳等。还有以灌木占优势而组成的植被类型，如在中国分布很广的温带落叶阔叶灌木（包括豆科的胡枝子、杭子梢属植物、蔷薇科的蔷薇和绣线菊、悬钩子属植物等）。此外，在灌木中还包括高度在 1 米以下的“小灌木”，例如六月雪，就是有名的盆景观赏小灌木。

【半灌木】具有与灌木相似外形（如不具明显的主干，高 5 米以下）的多年生植物。亦常在近基部生长出多个粗细相似的枝干，丛生。半灌木与灌木不同的是：半灌木介于木本植物与草本植物之间，仅在枝条的下部为多年生，并有木栓组织保护，上部是 1 年生的。因此在寒冷的冬天，上部的枝条枯萎或死亡，常被农人砍伐作为柴薪。半灌木也称亚灌木，如菊科的蒿属、金丝桃科金丝桃属植物等。有的半灌木也是药用植物，如麻黄、黄芪和接骨金粟兰以及某些蒿属植物等。

【藤本植物】茎干细长而弱，虽木质化，但仍不能直立，只能依附其他植物或支撑物而向上攀升的植物的总称。按茎的质地分为：木质藤本如紫藤、野葡萄；草质藤本如绿葵、苦瓜。按攀援方式分为：攀援藤本，用卷须、吸盘、不定根或其他特有的攀附器官攀援于他物之上，如葫芦科植物、瓜类的卷须藤本，爬山虎的吸附藤本，常春藤的攀附藤本等。缠绕藤本，螺旋状缠绕于他物上，向右旋的（顺时针方向）如金银花、葎草等；向左旋的（逆时针方向）如牵牛、扁豆等；无定向缠绕的，如何首乌、猕猴桃等。按叶落季节可分为：落叶藤本，如葡萄、紫藤等；常绿藤本，如热带雨林中的常绿藤萝——龙血树以及长达数十米的省藤等。

【草本植物】茎内木质部不发达，木质化细胞较少的植物。种类包括：一年生植物（如马齿苋等）和种子在第一年萌发，第二年开花结实，然后全株枯死的越年生植物以及多年生的植物。草本植物有 3 种类型：一种是宿根草本型，即植物的地上部分每年都要枯萎死亡，而其他地下部分则保持多年的生活能力，到了第二年

又重新萌发新苗，如鱼腥草等。另一种是多年生常绿草本型，即全株或地上部分多年不死，保持常绿的草本类型。还有一种是草质藤本型，植物细长而柔弱，草质，常缠绕或攀附于它物而生长，如南瓜、扁豆、牵牛花等。

【垫状植物】长期生长在高山寒冷地区，适应土地脊薄、雨量稀少、风大、无霜期短环境条件下的一种植物类型。常为灌木或多年生草本。矮生茎的节间短、分枝多而密、叶排列于根旁，匍匐贴近地面生长，植物丛生呈半球状或莲座状凸起的垫状体。它们的花期短，花也镶嵌在垫状体的表面，极少伸出其外。这种垫状植物，在高寒地区的白天，吸收辐射热较地面多，而散热则较慢，体内水分蒸散也较少，植株低矮、密集而根部发达。在西伯利亚北部最大苔原区的垫状植物十分典型，如高山葶苈等。在中国则主要分布在青藏高原高寒地区，如祁连山海拔 4000 米左右的垫状蚤缀，青藏高原上的垫状点地梅、垫状辣豆以及垫状驼绒藜、藏亚菊等。

【分蘖】禾本科植物的地下茎在地下或近地面处发生的分枝，由腋芽形成。常在贮有丰富营养而稍膨大的分蘖节上发生，分蘖节上又可依次发生新的分蘖，但其地上茎不分枝。主要类型有：（1）疏蘖型，分蘖节位于地下，间距较远。由分蘖节上发出分蘖，其地上茎呈现疏散状态。（2）密蘖型，分蘖节从贴近地面或地上茎的茎节处形成，分蘖节间距不明显，地上茎密集成丛，如麦、稻。（3）合轴分枝型，一般具地下茎的多年生禾本科植物属此类型，如竹类。它们主轴上的顶芽，生长一定时间后，便变迟缓，然后逐渐死亡，促使腋芽形成新的枝条，周而复始，便形成一左一右的

最后沿合轴分枝方向生长的分蘖类型。这种类型比较进化。对谷类作物来说，分蘖在农业生产上有重要意义。能抽穗结实的分蘖称“有效分蘖”，不能抽穗结实的分蘖为“无效分蘖”。增加有效分蘖，是谷类作物增产的重要环节。

【叶镶嵌】同一植株上的许多叶片，形成镶嵌排列的现象。是植物长期适应环境、充分利用阳光的结果。通常是下面的叶柄较上面的长，加上叶片在茎上位置的不同、叶片的大小差异和叶片本身的缺刻等呈合理的镶嵌排列，以达到最大限度的接受阳光，并且相当平均地保证植物全部叶片都能进行光合作用。叶镶嵌现象在攀援植物、棕榈科植物、尤其是莲座叶丛的水生植物如菱、水浮莲等表现得特别明显。

【维管束】从蕨类到种子植物的营养器官中，由木质部和韧皮部组成的束状结构。植物体内复杂的输导系统。韧皮部主要由筛管、伴胞、韧皮薄壁细胞与韧皮纤维组成；木质部主要由导管、管胞、木薄壁细胞与木纤维组成。双子叶植物和裸子植物根、茎的维管束，在韧皮部与木质部之间有形成层存在，能继续增生长大，称为无限维管束或称开放性维管束。蕨类和单子叶植物根、茎的维管束没有形成层，不能继续增生长大，称为有限维管束或称闭锁维管束。根据维管束中韧皮部和木质部相互排列方式的不同，以及形成层的有无，可分为 6 种类型：（1）有限外韧维管束，如单子叶植物茎。（2）无限外韧维管束，如裸子植物与双子叶植物茎。（3）双韧维管束，如茄子、南瓜茎。（4）周韧维管束，如贯众。（5）周木维管束，如鸢尾、菖蒲、莎草茎。（6）辐射维管束，如被子植物的根。叶中的维管束统称叶脉。维管束系统在植物体内

主要起输导和支持作用。在木材、药材、纤维造纸方面具有分类鉴定意义。

【形成层】裸子植物和双子叶植物的根、茎中木质部和韧皮部之间的一种分生组织。分两种：（1）维管形成层，它有分生活动，可不断产生新的木质部和韧皮部，使根茎不断加粗。（2）木栓形成层，向外产生木栓层、向内产生栓内层。形成层细胞有两种类型：（1）纺锤状原始细胞，细胞核多为椭圆形或肾形，两端尖锐扁长形，液泡大而明显或小而分散，胞质稀薄，细胞径向壁较厚，其上具单纹孔。（2）射线原始细胞，近等径，具薄壁组织细胞的特征。形成层薄壁细胞的活动，受外部环境、尤其是温度和水分的影 响。温带树木的形成层，从春天开始活动，主要进行平周分裂，分别构成次生木质部和次生韧皮部。冬天形成层原始细胞处于休眠状态，如此年复一年，在茎的横断面上，就形成了年轮。形成层细胞的活动一般可持续数月，但常随地球纬度高低而变化。

【木质部】植物体内具有输水、储藏和支持功能的一种复合组织。属于植物的输导组织。它与韧皮部一起，形成了上下连续的维管系统。木质部由导管、管胞、木纤维和薄壁细胞组成。导管和管胞是木质部的主要组成部分。蕨类植物和裸子植物无导管，管胞是唯一的输水组织。而在被子植物，则由导管取代了管胞，故输水效率大为提高。木纤维的细胞壁多数木质化，主要起支持作用。木质部由维管形成层形成。双子叶木本植物和裸子植物，由于茎内形成层的活动，不断产生新的木质部，成为有用的木材。次生木质部除上述组成外，还有木质部射线（由多列或单列薄壁细胞形成，常木化），它与木质部薄壁细胞一起加强了运输、储藏和支

持的功能。木质部还能产生不定芽和不定根，使植物更加适应环境。

【导管】植物体内木质部中，主要运输由根吸收的水分和无机盐溶液的管状结构。由多数纵长的管状细胞连接而成，每个管状细胞称导管分子或导管节，细胞壁部分溶解形成穿孔，使横壁打通成一个连通的管子，在发育初期是活细胞，成熟后多为死细胞。胞壁是次生木质化加厚的结果，因系非平均增厚，故形成各式穿孔板。根据次生壁形成的纹理可分成环纹、螺旋、梯纹、网纹和孔纹导管。在被子植物中，除水青树、昆兰等少数科属外，均有导管。导管还存在于卷柏、欧洲蕨等某些蕨类和裸子植物买麻藤中。在木材的鉴定上导管有一定价值。

【管胞】植物体内木质部中，高度特化并能输导水分和溶于水中物质的长梭形管状细胞。绝大多数蕨类植物和裸子植物唯一的输水组织。在被子植物的叶柄和叶脉中，也可见到管胞与导管同时存在，但不是主要的输导组织。管胞是次生壁已木质化的死细胞。两相邻的管胞各以其偏斜的两端相叠，互相嵌插而连接，两管胞间形成穿孔，水与水溶液只能通过其壁上的纹孔而运输，故其输水效能较导管低，是一类比较原始的输导组织，但机械支持的能力较强。在松柏类的管胞上，可见到一种典型的具缘纹孔。

【韧皮部】植物体内具有运输同化产物、贮藏和支持功能的一种复合组织。属于输导组织，它与木质部共同形成维管系统，广布体内。韧皮部由筛管（筛胞）、伴胞、韧皮纤维和薄壁细胞组成。筛管或筛胞是基本组成部分。筛管由一系列筛管分子顶端衔接而成，

有筛孔与相邻的筛管分子相通，端壁上有筛板通联，是长管形细胞，主管运输营养物质。蕨类植物和裸子植物无筛管和伴胞，运输营养物质靠筛胞。筛胞之间的横壁上有筛孔相通，端壁之间有筛板通联。伴胞是和筛管分子相伴的一个或几个细胞，它与输导和提供能量有关。韧皮纤维坚韧而富有弹性，具支持作用。薄壁细胞中含淀粉等营养物质，是由根或茎顶端分生组织分化出来的原形成层，可进一步分化成初生韧皮部。次生韧皮部远不及次生木质部发达，而且薄壁组织占主要部分，其中包括韧皮射线。韧皮部薄壁细胞中常含多种营养物质，如糖类、淀粉、脂肪、生物碱、结晶体、鞣质、橡胶、甙类和挥发油等。在次生韧皮部中，常含有各种分泌组织，如马兜铃含有油细胞、人参有树脂道、当归有油室、三叶橡胶树和蒲公英有乳汁管等。韧皮部的主要功能，是将叶片中光合作用的产物输送到植物各部去，其中糖类占 90% 以上。其余是蛋白质、氨基酸、维生素、无机盐、激素等。

【筛管】植物输导组织的一种，是运输同化产物的管状结构。由许多活细胞（筛管分子）上下连接而成，存在于被子植物的韧皮部中。成熟时其细胞核消失，相邻的两细胞的端壁上，穿有许多小孔，称“筛孔”，具筛孔的横壁称“筛板”，筛板两边的原生质，通过筛孔而彼此相连，这些连着的原生质丝，与胞间联丝的情况相似，但较粗壮，称“联络索”。有些植物的筛孔，也见于筛管的侧壁上，通过筛孔使相邻的筛管彼此联通。筛管形成后，筛管细胞成为无核的生活细胞，但近年来有人认为筛管细胞始终有核，且为多核结构，只不过核小而分散，不易观察到而已。此外组成筛管的细胞壁是由纤维素构成的，不木质化，也不象导管壁那样增厚。

【伴胞】被子植物韧皮部中与筛管细胞由同一母细胞产生，后又紧密相伴而生活在一起的一个近乎等长而直径较小的薄壁细胞。在筛管形成时，最后一次纵裂，产生一个大型细胞，发育成为筛管细胞，同时产生一个小型细胞，发育成为伴胞。其特点是细胞质浓、核较大。在伴胞与筛管相邻的胞壁上，往往有许多纹孔，功能不清。但伴胞含有多种酶，生理上很活跃，呼吸作用也旺盛，故推测可能为筛管细胞提供能量，筛管的输导功能与伴胞有密切关系。伴胞为被子植物所特有，蕨类及裸子植物不存在伴胞。

【年轮】温带乔木与灌木茎干横断面上的同心环纹。一般每年形成一轮。一年内气候不同，形成层的活动有强弱之分，产生的木质部结构的疏密也有差别。春夏季产生的木质部细胞大、壁薄，导管多而直径大，色淡且宽厚，木纤维少，材质疏松，称“早材”或“春材”；秋季所生木质部细胞小、壁厚，导管少而直径小，色深且狭窄，木纤维多，材质致密，称“晚材”或“秋材”。当年的早材与晚材逐渐过渡，组成一轮，晚材与次年早材之间，界限分明。一年一轮的出现，反映树木的年龄。但有的植物如柑、橘，受气候的特殊变化或虫害影响，一年可产生数轮，称“假年轮”。热带乔木因终年温差不大，就不形成年轮，但在有明显旱季和雨季之分的热带树木，也产生年轮。对古植物化石年轮的研究，可探讨古代气候、植物生态环境的变化。年轮有助于对木材、药材品种的鉴定。

【树皮】木材外面所包被的皮。又称茎皮。是指维管形成层或木质部外面的所有组织。树皮由周皮、中柱鞘和韧皮部组成。树皮具

有保护作用。上有许多皮孔以利气体交换。树木长大时周皮不断加厚，故在根和茎的表面积累了死组织——落皮层。它是一层层被周皮分隔的组织和不再生长的周皮。特别在老树的根和茎上相当发达。灌木的老树皮，常有较早的片状剥落，不能积聚成厚的落皮层。多年生木本植物头年末，表皮消失而产生次生保护组织的木栓形成层。接着向外、向内分生成木栓层和栓内层，当第一木栓形成层死亡前，在它的内面又分化出第二木栓形成层。树皮常被挤压、变形而脱落。由于木栓层的交替生成，特别是由于新木栓形成层分化的情况不同，有的呈条状、有的呈环状，因此，树干外表形成程度不同的龟裂，从而导致树皮的形状、颜色等的不同。这些都是鉴别树木种类和年龄等的特征。

【周皮】木栓层、木栓形成层和栓内层的合称。是取代表皮的次生保护组织，因而只有在进行次生生长的植物器官才能产生。如木本植物的根和茎的表皮，仅见于幼年期，后来由于根和茎在加粗过程中表皮被破坏。这时植物相应地形成次生保护组织。周皮是由木栓形成层向外分生木栓层，其细胞扁平、排列整齐紧密、胞壁木栓化，并向内分生薄壁的栓内层。在茎中的栓内层常含有叶绿体，称为绿皮层，如接骨木茎的周皮。单子叶草本植物，由于没有次生分生组织，所以它的茎不能加粗，并且在茎的皮层内部，也没有木栓形成层，因此也就缺乏周皮，但个别的乔木和灌木例外，如柳树与苹果树的木栓形成层，可在表皮中出现；黑醋栗的木栓形成层则在活细胞的更里层中出现。

【皮孔】周皮的一部分。双子叶植物乔木或灌木的茎、枝的周皮上，一些颜色浅而凸凹成点缝状小孔。在周皮形成时，原来位于气孔

下面的木栓形成层，向外分生许多纵向或横向的、并且是疏松而非栓质化的补充细胞，由于这种细胞的积累，将表皮突破形成皮孔。皮孔是气体交换的通道，使内部的细胞仍可获得氧气。这种结构可以接骨木的皮孔为代表（见图）。也有不具皮孔的植物如松树，它的木栓组织不是连续的，因此无须皮孔也能进行气体交换。单子叶植物无周皮，也就没有皮孔，但终生具表皮层，从而得到补偿。在马铃薯块茎的皮孔中，经扫描电镜显出，向着胞间隙的胞壁上有蜡质的突起，这种突起可控制块茎通过皮孔的水分蒸发和阻止水分与病原体的侵入。

接骨木皮孔的横切面

1. 表皮层 2. 补充细胞 3. 木栓层
4. 木栓形成层 5. 栓内层（绿皮层）

【气孔】植物茎、叶表皮上两个保卫细胞围成的孔隙（见图）。气孔由两个肾形或哑铃形的保卫细胞对合而成。保卫细胞含叶绿体，胞质丰富，核明显，较表皮细胞小，与表皮细胞相邻的细胞壁较薄，其他各方均较厚，故当保卫细胞充水膨胀时，气孔就张开，反之失水萎缩时，气孔就关闭。故气孔有控制气体交换和调节水分蒸发的作用，是水、气的通道和闸门。受光线、温湿度、土壤供水等的影响。气孔在叶上多、茎上少、根上无，陆生植物叶下面多，而水生植物则叶上面多，旱生植物气孔常陷于表皮细胞以下，而湿生植物气孔常高过于表皮细胞，有些植物在保卫细胞的周围，

还有一个或多个略呈三角形的副卫细胞，与保卫细胞一起按一定次序排列，而构成气孔类型。常见的双子叶植物的气孔有平轴式（茜草科型）、直轴式（石竹科型）、不等式（十字花科型）、不定式（毛茛科型）和环式（辐射型）。气孔类型对植物的品种和药材鉴定具有意义。

叶的表皮与气孔

（Ⅰ 表面观，Ⅱ 切面观）

1. 表面细胞 2. 保卫细胞 3. 叶绿体 4. 气孔
5. 细胞核 6. 细胞质 7. 角质层
8. 栅栏组织的细胞 9. 气室

【纹孔】植物细胞的细胞壁上，未经次生加厚而留下的凹陷。初生细胞壁随细胞的生长而扩大，由原生质体产生的纤维素不断添加到初生壁上，但细胞壁的加厚并不是均匀的。很多地方留下没有增厚的空隙，这就是纹孔。纹孔通常呈小窝、缝隙或细管状。相

邻的细胞壁其纹孔常成对地相互衔接，称纹孔对。纹孔可分为三种类型：（1）单纹孔，胞壁未加厚部分呈圆孔形或扁圆型，纹孔对中间由初生壁和中胶层所形成的纹孔膜隔开。（2）具缘纹孔，纹孔边缘的次生壁，向细胞腔内隆起呈拱架状，形成一个半圆的纹孔腔，纹孔腔有一纹孔口，纹孔膜中央加厚成为纹孔塞，因此从正面看呈三个同心圆状。纹孔塞仅在松柏类植物的管胞中才具有，其他裸子植物与被子植物则没有纹孔塞，故从正面仅看到两个同心圆。（3）半缘纹孔，在管胞或导管与薄壁细胞之间形成的纹孔。一边具缘，一边不具缘。一般情况下，纹孔膜、纹孔塞都处于纹孔对的中央位置。而在植物茎的心材上，大多数具缘纹孔对都偏向侧位，封住了纹孔口，特称封闭式纹孔，这种现象有利于防止水分散失，常与木材中心干枯有关。松柏类植物纹孔的数目和排列有很大变化，可分为梯状纹孔式、列对纹孔式和互利纹孔对式。

【侵填体】植物木质部导管或管胞附近的薄壁细胞，由导管或管胞腔内伸出而形成的瘤状突起。这种突起能长大并可贮藏鞣质、树脂等，最后充塞于整个腔中，使导管或管胞逐渐丧失其输导功能，木质部变得更坚硬。侵填体储有细胞后含物，有的还能产生次生壁，甚至分化成石细胞，增加支持功能。大量产生侵填体的木材有洋槐、葡萄、桑、梓树和黑胡桃等。侵填体的形成可使木材坚硬而耐腐蚀，特别在心材形成时，边材如受到机械损伤或感染病菌，侵填体会堵塞导管，起到一定的防腐抗感染作用。

【纤维】植物机械组织中厚壁组织的一种。一般是两端尖的细长形细胞，具增厚的次生壁，常木质化，胞腔狭小，胞质和胞核均消失，是死细胞。胞壁加厚的物质是纤维素和木质素，壁上有少数

纹孔。纤维散在或成束，纤维末端尖锐相互嵌插，形成对器官的坚韧支撑。通常称韧皮部的纤维为韧皮纤维，在木质部的纤维为木纤维。由于植物种类不同，所含纤维的类型也不同。除上述两大类外，有一种细胞腔中具很薄横隔膜的纤维称“分隔纤维”如姜。还有一些植物的纤维束周围薄壁细胞中含草酸钙方晶，形成“晶鞘纤维”，如黄柏、甘草、葛根等。经济价值较大的是双子叶植物的韧皮纤维，如苧麻、黄麻、亚麻等用于纺织。通常说的“纤维”常包括其他结构，如棉花是种子的表皮毛；单子叶植物的“叶纤维”是硬纤维，如虎尾兰属、剑麻等，可用于绳索的制作。

【木纤维】被子植物木质部内的纤维。属植物机械组织中的厚壁组织。细胞呈长纺锤形，两端尖锐，彼此紧密镶嵌而加强牢固性，细胞壁常加厚且木质化，并有各种各样退化的具缘纹孔。胞腔狭小，成熟后多为死细胞，如川木通。分布在植物体中央，主要起支持作用。胞壁的增厚程度也因植物种类和生长期的不同而有差异，如白杨、枫树的木纤维的细胞壁较薄，而山毛榉科栎树、板栗树的木纤维细胞壁则显著增厚。裸子植物木质部主要由管胞组成，没有木纤维。管胞除运输水分外，还兼有支撑作用，表明裸子植物较被子植物原始。木纤维仅见于被子植物，它的纤维较韧皮纤维短，长约1毫米，而且不成束，木纤维是优良的造纸原料。

【韧皮纤维】又称皮层纤维。分布在植物韧皮部中的纤维，是厚壁组织中纤维的一种。细胞呈长纺锤形，两端尖锐并常聚合成束。细胞壁厚、木质化或非木质化，均具单纹孔，胞腔呈狭长的缝隙状。在横断面上，细胞呈多角形、圆形、长圆形，细胞壁上常可见到同心纹层。韧皮纤维细胞壁增厚的主要物质是纤维素，故其韧性

强而拉力大。苧麻、亚麻、罗布麻等的韧皮纤维不木质化，比较柔韧，是优良的纺织原料，可制作服装、帆布、消防水带等。也有少数植物如苘麻、黄麻等，其韧皮纤维木质化程度较高，柔韧性降低，质脆易断裂，所以仅能制作麻袋、绳索等。韧皮纤维也是药材和木材显微鉴定的内容之一。

【石细胞】植物体内特别硬化的厚壁细胞。属于机械组织中的厚壁组织。石细胞分布广泛，种类多，形态各异。常呈圆形、椭圆形、丝毛状、分枝状、柱状、星芒状或骨状。次生壁极度增厚，而且木质化，有的栓化或角质化。有明显的同心环纹，具单纹孔。单纹孔在加厚的次生壁上呈沟状管道，多数汇合成分枝状态，与狭小的细胞腔连通。成熟后，石细胞的原生质体消失，成为有坚硬细胞壁的死细胞，有支持作用。石细胞常见于茎、叶、果实和种子中，单个散生或数个相聚。在梨的果肉中，桃、椰子的内果皮中，黄柏、黄藤的皮层中，白薇、三角叶黄莲的髓部，杜仲、厚朴、肉桂的维管束中均有石细胞分布。此外，在木犀和茶叶的叶肉常有单个生存的石细胞。大型石细胞呈“T”形、“I”形或星芒形。有大细胞腔的“滴漏细胞”、“柱细胞”为异型石细胞。石细胞在药材和木材鉴定上也有意义。

【胚珠】尚未发育成种子的结构。被子植物的胚珠，包被于子房内，一般呈球形，其数目随植物种类而异。其结构从胚珠的纵切面中可见，由珠心和一层或二层珠被与珠柄构成。珠柄、珠被与珠心连合部位称合点。由于胚珠着生部位的不同，有直生胚珠、弯生胚珠和倒生胚珠。受精后，受精卵在胚囊中发育成胚，受精的极核发育成胚乳，整个胚珠发育成种子。在裸子植物（如松科植

物) 是两个裸露的胚珠, 着生在雌球果的果鳞向轴面上, 受精后发育成具翅的种子。

1. 珠柄 2. 外珠被
3. 内珠被 4. 珠心
5. 胚囊 6. 合点
7. 珠脊 8. 珠孔
9. 卵细胞
10. 助细胞
11. 极核细胞
12. 反足细胞

胚珠的构造及类型

- a. 直生胚珠 b. 弯生胚珠 c. 倒生胚珠

【珠被】被子植物胚珠中, 由珠心基部的细胞分裂而成, 向上扩展并包围在珠心外面的细胞薄膜。最后分化成种皮。大多数被子植物的珠被为两层, 紧贴、包围珠心的一层称内珠被, 外层称外珠被。有少数被子植物的珠被是单层的; 但还有少数植物不具珠被, 例如檀香科的植物。裸子植物的胚珠裸露, 是指没有子房包裹, 并非指没有珠被保护。如银杏的胚珠就生长在雌花(大孢子叶球)的一个长梗上, 生有一对裸露的胚珠(但只有一个胚珠发育成种子), 其外有一层较厚的珠被包裹着胚珠。不论是裸子植物还是被子植物, 其胚珠形成种子, 珠被形成种皮。

【珠心】植物胚珠的组成部分之一。是胚珠的里面部分，由胚珠中部的一些薄壁细胞组成，其中产生大孢子，大孢子进一步发育成胚囊。珠心是胚珠中最主要的部分，内有胚囊。成熟的胚囊内有 8 个细胞：靠近珠孔有 3 个，中间较大的一个为卵细胞，两旁为 2 个助细胞；囊的另一端有 3 个反足细胞；胚囊中央有 2 个极核细胞，又称原始胚乳细胞。珠心基部、珠被、珠柄连接处称为合点，是维管束输送营养物质进入胚囊的通道。

【珠孔】胚珠的外面包有珠被，珠孔在胚珠的顶端（指靠近胚囊卵细胞与助细胞一端），是珠被尚未完全闭合而留下的一个孔隙。这个小孔是花粉管中的精子进入珠心、胚囊的通道。如荠菜、玉米、百合等大多数植物的花粉管中的精子，就是通过珠孔而进入胚囊受精的，人们称这种受精方式为珠孔受精。也有少数的植物其花粉管中的精子，是通过珠心基部与珠被相融合的部位称合点（指靠近胚囊的三个反足细胞一端）而进入胚囊受精的，人们称这种受精方式为合点受精。不论裸子植物还是被子植物的胚珠都有珠被；同时也都有珠孔。在成熟后的种子上，也可以发现有珠孔，当种子萌发时，胚根正是从此孔穿出向下生长的。

【胚乳】在裸子植物的种子中，直接由雌配子体发育而来的营养组织；以及被子植物的种子中，通过精子与极核融合，发育而来的营养组织，统称为胚乳。胚乳是种子的一部分，被子植物胚囊中央的极核，受精后形成胚乳核，而后发育成的营养组织，又称“内胚乳”。大多数胚乳围于胚的四周，常呈白色。在种子萌发时，供给胚生长发育所需之养料。单子叶植物小麦、水稻和玉米等都

具有胚乳；双子叶植物蓖麻、柿等也具有胚乳，故称有胚乳种子。而在豆科植物的种子中，在胚形成发育时，胚乳被胚全部吸收而消失，并将营养物质贮藏在子叶里，种子成熟后就没有胚乳或仅残留下一薄层，所以称无胚乳种子，如豆类、油菜、南瓜、杏、向日葵等，其所贮藏的营养物质与胚乳里的一致，主要是淀粉、蛋白质和脂肪。但也有些植物的珠心，在种子发育过程中形成营养组织，包围在胚乳外部称“外胚乳”。胡椒、甜菜、豆蔻、石竹、槟榔等成熟的种子中，就有外胚乳存在。裸子植物的胚乳，在受精前形成，是配子体中的一部分，由大孢子发育而来，虽有胚乳样功能，但其来源不同于被子植物。胚乳在种子中占的体积大，与人类关系密切，人们吃的粮食主要就是胚乳的成分。

【雌球花】又称大孢子叶球。裸子植物的雌花序，着生在当年春季新生长枝的顶端，一至两个。由多数鳞片（大孢子叶、也可称心皮或珠鳞）组成，密集螺旋状排列在雌花轴上，并形成长圆形或球形的“果”。雌球花在每片珠鳞的近轴面基部，生有 1 个至多个裸露的胚珠（大孢子囊），珠鳞并不包裹胚珠。而在每片珠鳞的下面，还生长出一种膜片称苞片或苞鳞。珠鳞在种子形成时，迅速肥大并木质化，掩盖了苞鳞，呈棕色特称为果鳞（宿存或脱落），珠鳞与苞鳞有的是分离的、有的半分离、有的则完全愈合。珠鳞肥大时，顶端加厚形成特殊的突起，在鉴别种类上有重要意义。当花粉飘落在雌球花上，半年后花粉管由珠孔进入胚珠，受精后胚珠形成种子。种子由胚乳、胚和种皮构成，具翅。成熟后球果下垂，称雌球果。

【雄球花】又称小孢子叶球。裸子植物的雄花序，着生在当年春季

新生长枝的基部，它是由多数鳞片（或称小孢子叶即雄蕊）组成，紧密螺旋排列在雄花轴上，呈长圆形或长椭圆形，雄球花在每一个鳞片的下面（背面），具有两个或多个长形的花粉囊（即小孢子囊）。花粉囊内有多个花粉母细胞（即小孢子母细胞），经过减数分裂，产生很多单倍体的小孢子，进而发育为成熟的花粉粒（即雄配子体前期）。每个花粉粒有两层壁，外壁向两侧突出形成两个半球状的气囊（翅）；气囊是帮助散布的结构。当花粉成熟开裂时，散出大量具翅的黄色花粉粒，随风传播，最远可达数十至数百公里。这是风媒花植物的一种特化和对环境适应的表现。

【球果】裸子植物松柏目（包括杉科）植物，在当年新生长枝的顶端，即由雌球花在受粉受精后发育成的一种长圆形或近球状的结构。一般未成熟时多为1—2个红色或绿色的球状体。雌球花中的胚珠受精后发育成种子，大孢子叶（珠鳞）发育成种鳞（果鳞）。成熟时呈褐色，种鳞均木质化，大多数种类（如油松等）的球果种鳞（果鳞）都裂开，种子随风散落。而也有少数种鳞（果鳞）不开裂，如红松、圆柏等。球果不是果实。在马尾松、落叶松、云杉、冷杉等针叶树，都具有不同形状的球果。此外，也有少数裸子植物，如桧属植物，在叶腋中或小枝顶端也形成球果，在成熟时，种鳞（果鳞）合生并肉质化，球果呈浆果状。少数植物如紫杉，雌花不集成球果，而雄花却呈球果状。

【糊粉粒】非活性而又较稳定的结晶体或无定形的小颗粒，贮存在植物细胞质中。这种蛋白质与构成原生质的活性蛋白质不同，不能吸水膨胀，故又称蛋白质晶体。主要存在于植物的种子中，特别是含有脂肪的种子中。如在蓖麻和油桐的胚乳细胞中，就含有

较大的糊粉粒，在显微镜下，可见到一个到多个圆球形的晶体或多角形的蛋白质结晶体。在豌豆的子叶细胞和马铃薯块茎细胞中，都可见到蛋白质结晶。而在大豆种子中则常可见到糊粉粒与淀粉粒混存在一起的现象。此外，在玉米、小麦、水稻等禾本科植物种子里，糊粉粒分布在胚乳的最外层细胞中，特称为“糊粉层”，常因精碾而损失。

【蜜腺】能分泌蜜液（花糖或花蜜）的一种腺体。位于植物体表，分泌物排出体外，故属外部分泌组织。由一群表皮细胞与相邻的深层细胞特化而来。其特点是：细胞质浓、胞壁薄、角质层无或很薄。蜜腺下常有维管组织，蜜液通过角质层扩散或经腺体上表皮的气孔排出体外。蜜腺形状各异，呈突起、扁点、小穴、小槽、喇叭状或疖瘤状等。一般位于花瓣、花萼、子房、花柱的基部或花盘上，如油菜、荞麦、紫云英、槐等。有的蜜腺生长在托叶、叶片、叶腋、花柄等处，称为花外蜜腺。蚕豆托叶的紫色部分，梧桐叶下的红色小斑，桃、樱桃、大叶野樱、腺叶野樱叶片的基部，枣、白花菜、大戟属植物的花序和荚果、梅、合欢等属植物，均具花外蜜腺。凡具蜜腺的花都是虫媒花。

【腺毛】具有分泌能力的表皮毛。一类植物的外部分泌组织，由多个细胞组成，分腺头和腺柄两部分。腺头内积聚着分泌物如粘液、树脂、挥发油等，腺头外覆盖着可透性的角质层，分泌物经角质层渗出或因角质层破裂而排出。腺毛多分布在茎、叶、芽鳞和子房等部位，但广藿香和绵马的腺毛，存在于植物组织内部的细胞间隙，称间隙腺毛。另外，在唇形科等植物的叶上，还有一种无

柄或短柄的腺毛，其头部常由数个细胞组成，略呈扁球形，排列在一个平面上，特称腺鳞。还有少数食虫植物的腺毛，能分泌特殊的消化液，将“捕捉”到的昆虫消化掉，如食虫植物茅膏菜叶上的腺毛。

【树脂道】植物分泌组织之一，由分泌细胞彼此分离而形成的一个长形间隙的腔道，在其周围的分泌细胞称为上皮细胞，这些上皮细胞产生的分泌物贮存在腔道中。最著名的裂生式分泌道是松柏类的树脂道。存在于植物体内，其分泌物贮在细胞内或细胞间隙中，故属内部分泌结构。在双子叶植物如在小茴香果实的分泌道中贮藏着挥发油，称为油管，美人蕉和心叶椒的分泌道中贮藏着粘液称为粘液道或粘液管。松柏类的树脂道散布于所有器官的维管组织和基本组织中，松柏类木材的固有结构。树脂道可作为鉴别木材和药材的根据。所产生的树脂或油树脂，经蒸馏后可得到松节油和松香。松节油可供药用；松香可作焊接剂和保护琴弦。

【乳汁管】植物体内含有乳汁的长管状结构，属于植物内部的分泌组织。由一个或一系列细长分枝的乳细胞形成。乳细胞是具有细胞质和多个细胞核的活细胞，液泡里含有大量乳汁。研究表明，巴西橡胶树的乳汁，存在于整个细胞质中并具粘滞性，常呈乳白色、黄色或橙色，主要成分为糖类、蛋白质、橡胶、树脂、生物碱、甙类、酶、鞣质、有机酸、挥发油等。乳汁管有贮藏和运输营养物质的机能。具乳汁管的植物很多，如蒲公英、莴苣、榕树、罂粟、番木瓜等。乳汁管可分为两类：（1）无节乳管，为一个分枝长达

几米的乳细胞构成。如夹竹桃科、萝藦科、桑科和大戟属植物。具不分枝的乳管的如大麻。(2) 有节乳管，由一系列管状乳细胞连接成为网状系统，连接处胞壁溶化贯通，如菊科、桔梗科、旋花科、芭蕉科以及大戟科的橡胶树属植物等。

【分泌囊】在柑桔类的叶和果皮以及桉树叶等植物上，所见到的常称为“油点”的分泌囊。它们是由一些分泌细胞形成的腔室(囊)，所以亦称“分泌腔”。这些腔室内的分泌物，大多是挥发油，故又称“油室”。分泌囊可分为两类：(1) 裂生式，在分泌细胞层当中裂开、彼此分离形成，分泌细胞完整地围绕着腔室，如当归、金丝桃、漆树等。(2) 溶生式，分泌细胞因分泌物累积增多，原生质减少，使细胞壁破裂溶解，腔室周围的细胞常破碎而不完整，常见于陈皮、棉、桉树以及柑桔类等的叶和果皮上。

【箨 (tuō 拓)】俗称笋壳。竹类植物主秆上所生的变形叶。箨具有保护幼嫩竹笋的作用，在竹笋生长过程中陆续脱落。箨没有明显的主脉，也不营光合作用。它可分为箨鞘、箨舌、箨耳和箨叶等部分。箨鞘是箨下部包裹秆的部分，相当于叶鞘。箨叶位于箨鞘的顶端部分，相当于叶片，但形小而无明显的中脉。箨舌相当于叶舌，箨耳相当于叶耳，箨舌与箨耳位于箨鞘和箨叶之间的两侧。竹类植物的节，是秆上环状隆起的实心部分。大都由秆节和鞘节两个环组成的。秆节是节上面的一环，鞘节是节下面的一环，是叶鞘(箨鞘)的着生处。箨各部分的性状，是鉴定竹类属种的重要依据。

花图式 (a. 单子叶植物 b. 双子叶植物)

1. 花轴 2. 苞片 3. 小苞片 4. 苹果 5. 花瓣 6. 雄蕊 7. 雄花 8. 花被

【花图式】花的各部在垂直于花轴的横断面上的投影，用图解的方式来表明花的组合和结构。花图式的绘制规则：

(1) 用“○”表示花轴或茎轴。绘于图的上方，花轴对方和侧方用带短把的实心弧线，托着新月形空心弧线的符号“ ”表示苞片，表示花腋生；若是顶生花，则“○”及弧线都不必绘出。

(2) 花的各部分绘在花轴与苞片之间, 萼片用带短把的实心弧线, 托着带短线的新月形弧线的符号“ ”来表示。花瓣用黑色实心弧线的符号“ ”来表示。如萼片与花瓣离生, 各弧线彼此分离, 如系合生则以虚线连接各弧线, 绘制时要注意萼片与花冠各轮的排列方式(如镊合式“ ”如桔梗、覆瓦式“ ”如夏枯草、包旋式“ ”如木槿。)以及它们彼此之间的相互位置(互生、对生、轮生等), 若萼片或花瓣具有距, 则以弧线延长来表示。(3) 雄蕊以花药横切面表示, 应注意表示排列的方式和轮数、连合或分离、花药的内向或外向、雄蕊和花瓣间的位置关系, 是互生还是对生, 若雄蕊退化就以虚线圈表示。(4) 雌蕊以子房的横切面表示, 应注意表明心皮的数目、离生或合生, 子房的室数、胎座的类型以及胚珠着生情况等。花图式能够说明花的组合和结构, 它不仅能表明各种花的基本特征, 还能比较各种植物花的形态异同。但花图式仍有局限性, 还不能表明花的子房位置等全部结构特征, 所以必须与花程式配合使用, 方臻完善。

【花程式(花公式)】用简明的符号、数字写成一定公式以表明花的各部组成、排列、位置及相互间的关系。常用拉丁文的字首来表示, 如P示花被, C示花瓣, A示雄蕊群, G示雌蕊群, K(德文)示萼片, ()示合生。以数字表明花的各轮数目, 如以○示退化或不具备, ∞示多数不定数, G之后第一数示心皮数, 第2个数示子房室数, 第3个数示每室胚珠数。短横线“—”示子房的位置, 如 $\underline{G}$ 表示子房上位。♂示雄花, ♀示雌花, ♂或♀示两性花, ♂♀示单性花, ♂♀示雌雄同株, ♂/♀示雌雄异株。↑或⇈示两侧对称(不整齐花), *或⊗示辐射对称(整齐花)。如豆科植物豌豆的花: $\frac{\uparrow}{\uparrow} K_{(5)} C_5 A_{(9)+1} \underline{G}_{(1:1:\infty)}$ 表示两性花, 两侧对称, 萼片

5 枚，合生，花瓣 5 枚，离生，雄蕊 10 枚，其中 9 枚合生，1 枚离生，成二体雄蕊，子房上位，单心皮雌蕊，一室，每室胚珠多数不定。又如桑： $\uparrow P_4 A_4$ ； $\downarrow P_4 \underline{G}_{(2)}$ 以及百合： $* P_{3+3} A_{3+3} \underline{G}_{(3:3:\infty)}$ 等。花程式虽然简便适用，但仍不能完全表达花的构造特征，尚需花图式来补充。

【全息胚学说】由中国山东大学张颖清教授创立的新学说。一个生物体，不论是动物、植物还是微生物，个体上各有不同的器官和组织，其结构和功能单位，虽然不同，如动物的头、颈、躯干、节肢和植物的根、茎枝、花、叶、果实与种子，在本质上都是同一种东西——全息胚。都含有生物有机体整体的全部信息（包括遗传信息），也可以说是特化了胚胎。如一条蚯蚓切成两段，可长成两条蚯蚓就是这个原理。再如植物的组织培养以其愈伤组织细胞，发育成完整的植株，都证实这一学说，成为现代生物学发展的新理论。这一学说丰富了施莱登和施旺创立的细胞学说，后者指出，不论动物还是植物都是由细胞组成的，但在细胞层次以上却还没有统一的功能单位；全息胚学说的出现，补上了这一空白。

【植物志】记载某一国家、省或某个地区植物种类的植物分类学专门著作。中国早在东汉时期就有了记载 365 种药物的《神农本草经》，发展到明代，李时珍又编成了《本草纲目》，1949 年后又出现了许多中草药手册。由于收集的全是药用植物，虽有很大用途但有局限性。随着社会的发展，需求不断扩大，植物资源需要调查，各种植物知识需要了解，于是出现了各种地方植物志。植物志可将当地植物一概收入，进行分类描述，并对其科、属、种的区别特征，以检索表的形式表述出来，如《北京植物志》、《广州

植物志》、《海南植物志》、《秦岭植物志》、《东北草本植物志》等，要鉴别全国植物则有《中国高等植物图鉴》等。但它们仅包括全国植物种类的四分之一，因而国家决定组织有关专家编著《中国植物志》，将中国植物的种类囊括在内。全书计划 80 卷，现已出版了 40 卷。《植物志》的编写与出版，对普及科学知识，推动学术研究和促进经济建设都有重要作用。

【蜡叶标本】新鲜植物经过采集、压制后的干标本。即将从野外采集到的新鲜植物标本，经过整理，将根茎枝叶和花果全部或一部分，在有吸湿草纸的标本夹中压平、每天换吸湿草纸 2—3 次，并细心整理铺平标本，直至干燥后，才把干燥的标本，装帧到 8 开（即长 $\times$ 宽=39 $\times$ 27 厘米）的白色硬台纸上，贴上填好的标签，编好号码，经本人或送交有关机关和专家鉴定种类，最后写出该种植物的正确拉丁学名和定名人姓氏后，这样制成的标本，称为蜡叶标本。为了保护蜡叶标本和便于储藏保存，必须经过除虫烟熏和化学消毒处理后，方可按一个分类系统次序加以排列放入标本柜中。中国科学院植物研究所的植物标本馆，收存蜡叶标本 100 万份以上，是国家级的植物标本馆。

【植物标本室】专供保存植物标本而设计建造的房屋。以存放蜡叶标本（压制的干标本）为多，也有部分浸制或实物标本，有的还有部分切片、幻灯片、录像带和标本照片集以及登记簿、资料档案柜等。标本室的标本必须经过消毒、定名、登记编号后，按分类系统及拉丁字母顺序排号入柜。标本室具有一整套严格的保管、安全、使用等规章制度，并设专人负责开展和处理植物标本室（馆）的日常工作。标本室对科研、教学、生产、科普都十分有用，

为研究鉴定、保存、查证、交流植物标本，提供了一个良好的服务设施。

【顶枝学说】用以阐明维管植物的叶、孢子叶以至种子植物花部的起源和演化的理论。德国学者齐默尔曼于 1930 年提出。后来又经过多年的补充丰富和发展。该学说主要依据化石蕨类植物莱尼蕨的形态特征，认为最原始的陆生植物是由中干和两叉分枝的顶枝系统组成的，无叶，无真根，有的顶枝生有孢子囊，称为能育顶枝，有的顶枝不产生孢子囊，称为不育顶枝。以后由莱尼蕨这种类型的顶枝系统的进一步发展，经过“耸出”（越顶）、扁化、网化（蹼化）、退化和下弯 5 个基本过程或其中的某些过程的不同结合，演化出维管植物主轴上的叶子（小型叶、大型叶）、孢子叶以及种子植物生殖结构。如由顶枝束经过“耸出”、扁化、网化的过程演化出大型叶；由顶枝系统经耸出、扁化、退化过程演化出小型叶等。这一学说普遍受到学者们的重视与支持，当然它还需要不断地丰富、完善和发展。

【植物基因工程】用人工的方法，从不同生物中提取外源基因片段及载体 DNA，经过体外切割、拼接和重组，然后采取某种方法，把重组后的带有外源基因的载体 DNA 引入植物细胞，并使其在植物细胞内进行复制和表达，以达到预期的改变受体植物细胞遗传特性的目的。此种过程即称为植物基因工程。已知土壤中的根癌农杆菌（*Agrobacterium tumefaciens*）的 Ti 质粒和发根农杆菌（*A. rhizogenes*）的 Ri 质粒是转移外源基因片段的理想载体 DNA。目的基因的 Ti 质粒或 Ri 质粒的重组体通过细菌或微粒枪射法，能转移到多数双子叶植物体内，并使受体植物表现出目的

基因所控制的遗传特性。利用上述方法，目前已培养出一批具有抗虫、抗病毒或抗除草剂特性的作物“工程株”；但重组体进入水稻、小麦、玉米等单子叶植物还有困难，尚须加紧研究。

动 物

【眼点】一些绿色鞭毛虫体内与感光有关的构造。眼点为红色，含 β -胡萝卜素和血色素，一般在鞭毛基部，呈很浅的杯形。眼虫的眼点紧挨储蓄泡。鞭毛近基部有一膨大处，称副鞭毛体，位于眼点下方，是光的感受器。研究表明，眼点仅起遮光的“屏蔽”作用。当眼虫趋向光源时，光线只能通过浅杯的开口面达到光感受器，否则光线受阻。鞭毛虫不断调整鞭毛挥动方向，使光线能连续照到光感受器上而游向光源。腰鞭毛虫有的种类，眼点表面还有晶体状的透明构造，可加强对光的吸收。

【表膜】原生动物体表构造复杂的细胞膜，具保护、支持和运动等功能。表膜的厚薄及柔硬程度因不同类群而异。在眼虫（*Euglena*）中，表膜由两层膜组成。体表呈现的螺旋纹由若干表膜条纹形成，每一条纹的一端具向内弯的沟，另一端有外凸的嵴。一个条纹的沟和另一条纹的嵴相互关联。每个嵴还生有若干纤维，可加强支持作用或增加柔韧性。草履虫（*Paramecium*）的表膜由3层膜构成，最外面的膜复盖着包括纤毛在内的整个身体。两层内面的膜形成许多表膜泡，每一对表膜泡围着1根纤毛。表膜泡可增加表膜的厚度同时又不妨碍虫体的局部弯曲。

【储蓄泡】一些鞭毛虫身体前部的囊状构造。鞭毛着生于储蓄泡基部，由前端的胞口伸出体外。储蓄泡的主要功能是将收缩泡排入的水分及代谢产物，通过胞口排出体外。

【刺丝泡】纤毛纲动物表膜下的一种细胞器。在草履虫中，为许多垂直排列于表膜下的纺锤形构造。当虫体受到外界的化学、机械、电等的刺激时，刺丝泡能突然释放出胶原性质的刺丝。一般认为草履虫的刺丝泡具防御功能。实际上，当草履虫受到其主要捕食者栉毛虫（*Didinium*）的攻击时，刺丝泡并无防御作用，其功能至今尚无定论。在有些捕食性纤毛虫中（如栉毛虫），有另一类构造的刺丝泡，呈柱状，具厚膜，内有盘旋的刺丝。当遇到猎物时，刺丝从囊内翻出，使猎物麻醉并导致细胞溶解。栉毛虫的此类构造集中于胞口附近。

【伪足】一些原生动物运动和取食的一种细胞器，由部分细胞质暂时突出而成。伪足大致可分成 4 类。（1）叶片伪足，呈指状或舌状，有时分支，但末端圆形。伪足伸出时，细胞的外质先突出，随后内质流入。（2）丝状伪足，几乎全为细胞外质的突出，伪足呈丝状或分支。（3）根状伪足，伪足呈丝状并且互相连接成网，只有捕食功能，不用作运动器官。（4）轴伪足，伪足呈针状，内有由若干微管组成的轴丝。轴伪足常为较固定的构造。除原生动物外，其它无脊椎动物的变形细胞及高等动物的白细胞和吞噬细胞等亦可伸出伪足。

【食物泡】一些原生动物、多孔动物及小型后生生物中，在体内形

成的摄取食物的泡状细胞器。食物泡中含有悬浮着食物颗粒的液体。变形虫通常以吞噬方式摄取食物，碰到食物时，伸出伪足将其包围，连同水分一起形成食物泡后，与质膜脱离，进入内质，随内质在体内流动。另一种摄食方式为胞饮：当虫体的质膜接触食物颗粒，即将其粘住，随即下陷成管道，在管道内端断开而成食物泡。泡内的食物被溶酶体提供的酶所消化。在有胞口的纤毛虫中，在胞口底部形成食物泡，逐渐增大，最后脱离胞口进入体内。食物泡内呈现出酸性和碱性的变化，临近排出时一般近中性或弱酸性。疟原虫的滋养体也能吞噬一部分寄主的细胞质而形成食物泡。

【伸缩泡】原生动物的一种细胞器。主要功能是调节体内渗透压，排除过多水分，其中也包含代谢废物。在草履虫中，伸缩泡有固定位置，每个伸缩泡包括一个主泡、几个排列成放射状的收集管和排泄孔。主泡与收集管有节律地交替收缩，当收集管充满水而膨胀时，主泡收缩，其中的水分自排泄孔排出体外。当收集管收缩把水分排入主泡时，主泡胀大。变形虫的伸缩泡构造较简单，没有固定位置，排出水分的方法亦有待进一步研究。海产或体内寄生的原生动物通常无伸缩泡。

【骨针】多孔动物及有些腔肠动物体壁的一些针状支持性构造。大型骨针是主要的支持构架，小型骨针则埋于间充质内。骨针的成分为钙质或硅质。形状可分为单轴型、三轴型、多轴型及其它形状。单轴型骨针由单个成骨针细胞分泌而成。三轴型骨针又称六射式骨针，为互成直角的 3 个轴所成。四轴型骨针又称四射式骨针，由某一点向不同方向分出 4 个支轴，但由于失去其中的支轴

而成为三射、两射或单射式。三轴型或多轴型骨针常由两个以上的成骨针细胞产生：每个细胞先分裂为二，同时在细胞内沉积钙质或硅质，成为骨针的基础，随着骨针渐长，细胞沿每个轴向两极移动，最后骨针形成，细胞核消失，只留下部分细胞质包在外面。三轴型骨针主要在身体表面，3个轴都和体表平行，成为硅质，见于六放海绵纲。单轴、三射式的钙质骨针见于石灰海绵纲。单轴或四轴的硅质骨针见于寻常海绵纲。

【水沟系】多孔动物特有的结构。由于水流不断流经水沟系，带来必要的食物与氧气，排出代谢废物、精子及发育早期的幼虫。水沟系的基本构造分三类：（1）单沟型。最简单，水流自进水小孔流入，直接进入一个大的中央腔或海绵腔，其内壁为领细胞，再由出水孔流出。（2）双沟型。由单沟型的体壁向中央腔凹凸折曲而成若干含领细胞的辐射管（又称鞭毛室），还有若干辐射状排列的流入管，管壁无领细胞。辐射管和流入管相间排列。水流经许多流入孔至流入管、前幽门孔入辐射管，经后幽门孔、中央腔由出水孔流出。中央腔的内壁为扁平细胞。（3）复沟型。最复杂，由双沟型的辐射管进一步折曲而成许多圆形或椭圆形的鞭毛室，中胶层充填于各鞭毛室之间，中央腔缩小或消失。水流经体壁的流入孔进入中胶层内分支复杂的流入管、前幽门孔入小鞭毛室，通过后幽门孔至流出管，各流出管相会合逐渐增大，由最大的流出管经出水孔排出。有的海绵在水流过流入管前还经过体壁下的空腔。

【多细胞动物起源学说】多细胞动物起源于单细胞动物虽无直接证明，但从古生物学、形态学及胚胎学等提供的资料，使大多数学

者相信多细胞动物起源于中空的原生群体鞭毛虫。德国学者赫克尔称之为“囊胚虫”(blastacea)。囊胚虫如何发展成多细胞动物, 则有不同看法。最主要的有两种学说: (1) 原肠虫学说。赫克尔认为囊胚虫后部细胞的功能为摄食, 后半部的细胞向前陷入腔内成为两层细胞的杯形动物, 内层细胞成为原始的肠, 陷入处为原始的口。他称之为“原肠虫”, 类似于多细胞动物胚胎发育中的原肠期。(2) 实胚虫学说。俄国学者梅契尼科夫认为, 最低等的多细胞动物行细胞内消化, 并不需要口和消化道。因此, 多细胞动物的祖先应是一种“实胚虫”, 由囊胚虫中具有较强吞噬能力的细胞摄取食物后, 进入群体内部, 形成实心的有两层细胞的动物。内层细胞发展出肠腔, 后来再形成口。由于低等的腔肠动物(水螅纲) 和低等多孔动物的原肠胚是由外层细胞移入形成, 而且依据机能与结构统一的原则, 应是先有某种机能的发展, 然后逐渐形成相应的结构比较合理, 所以大多数学者同意梅契尼科夫的学说。

【后生动物】除原生动物、侧生动物和中生动物以外的多细胞动物。其特征是体躯由大量形态有分化、机能有分工的细胞构成。与群体原生动物的兼有营养和生殖功能的细胞不同, 其生殖细胞和营养细胞有明显的分化。

【侧生动物】见“多孔动物门”。

【辐射对称】多细胞动物的一种体制, 即通过假想的身体中轴, 从任何方向都可把动物的身体垂直切为两个几乎完全相等的部分。这种体制见于部分多孔动物和多数腔肠动物, 它们营固着生活或浮游生活, 能够从身体的任何一面感受刺激或取得食物。棘皮动

物虽然也表现出辐射对称的体型,但它们的幼虫显然为两侧对称。成体的辐射对称是长期适应附着生活而后来获得的,属次生性质。

【两侧对称】多细胞动物的一种体制,即通过假想的身体中轴,只有一个垂直切面可将身体分成左右两个相等的部分。见于大多数无脊椎动物及全部脊椎动物。两侧对称动物的身体可明确区分为前后、左右及背腹面,有利于积极探寻食物、躲避敌害等活动。

【两侧辐射对称】多细胞动物的一种体制,兼有辐射对称和两侧对称的特点,见于栉水母动物及珊瑚纲动物。珊瑚类的口两侧有口沟,栉水母类的身体两侧有触手囊构造而表现出两侧对称,但其它构造均呈辐射状排列。

【皮肤细胞】构成腔肠动物身体的一类细胞,兼有上皮和肌肉的功能。皮肤细胞通常为长柱形,基部有 1 条或数条细长突起,其中含肌原纤维。外胚层皮肤细胞的肌原纤维一般沿身体的纵轴排列,收缩时使身体变短。内胚层皮肤细胞的肌原纤维沿体轴呈环形排列,收缩时使身体细长。内层皮肤细胞还能伸出伪足摄取食物。上皮细胞与肌肉相连是一种原始现象,水螅纲中的有些硬水母以及大多数钵水母和珊瑚纲动物,上皮细胞没有上述能收缩的突起。

【刺细胞】腔肠动物特有的一类细胞,分布于胚层细胞之间,在触手上更多。刺细胞内有一刺丝囊,囊内有盘绕的管状刺丝及毒液,刺细胞外端有一突出的刺针。当刺针受强烈刺激,刺丝囊就立即放出刺丝保护自身或攻击捕捉猎物。刺丝囊的构造有多种变化,常见的有穿刺刺丝囊,当中空的细长刺丝向外翻出时,可把毒液射

入猎物体体内，将其麻痹或杀死。卷缠刺丝囊，只缠绕猎物而不注射毒素。粘胶刺丝囊，刺丝长而有粘性。刺丝囊中的毒液为含蛋白质的神经毒素，有些腔肠动物的刺细胞不仅能麻痹、杀死小动物，甚至能蛰伤人。

【平衡囊】有些水生无脊椎动物的平衡器。如多数腔肠动物水母体的伞缘有 8 个或更多的平衡囊，又称触手囊。每个触手囊由上皮细胞凹陷或向外凸出形成，内有若干石细胞，每个石细胞内有一粒可移动的钙质平衡石。当水母体偏离正常位置时，局部细胞受刺激而引起相应的肌肉收缩，使身体恢复原位。类似的平衡囊在原始的涡虫纲动物中位于脑的附近或脑内。此外，少数的纽形动物和多毛纲动物、一些海参纲动物、许多甲壳纲动物和大多数软体动物都有平衡囊，但在构造上可能略有变化，所处的位置也不同。

【水螅型】腔肠动物的一种体型。呈圆柱形，基部附于其他物体，另一端游离，周围有若干触手。简单的水螅型个体中，触手围着隆起的垂唇，垂唇中央为口，消化腔简单。有些种类体表还被复着外胚层细胞分泌的角质膜。珊瑚纲的水螅型构造较复杂，游离端称口盘，没有明显的垂唇，口盘周围有许多触手。口部外胚层陷入成口道。消化腔内有若干宽、窄不同的隔膜，最宽的隔膜，其内端和口道相连，其余隔膜内端为隔膜丝，游离于消化腔内。有的隔膜丝在消化腔底部形成游离的毒丝，含大量刺细胞，有防御和捕食功能。

【水母型】腔肠动物的一种体型。呈碟形或倒钟形，适于在水中营

漂浮生活。水母型的构造和水螅型基本相同。若将水螅型个体倒置，上、下压平即成水母的体型。水螅型的基部相当于水母型的外伞面，垂唇及口向下，触手仍在周围。钵水母纲的水母型发达，内伞面边缘无缘膜。水螅纲的水母型一般较小，内伞面边缘有缘膜。这两个纲的许多种类都有水母型和水螅型的世代交替。

【皮肤囊】低等无脊椎动物的体壁。由上皮层和肌肉层组成，由于二者紧密连系成为囊状构造，是较原始的特征。上皮为单层的扁平或柱状细胞，细胞间常杂有腺细胞，水栖种类和涡虫的上皮细胞表面有纤毛；陆栖或寄生种类的上皮表面有角质膜。有些动物的上皮层为细胞界限不清楚的合胞体。上皮层之下为肌肉。扁形动物的肌肉分 3 层：外层为环肌，中层为斜肌，内层为纵肌。线虫动物只有纵肌，由于表皮在几处向内突形成几条纵索，把肌肉分隔为 2 列、4 列或 8 列。环节动物有环肌及纵肌两层，在纵肌之下为中胚层来源的体腔膜。

【毛蚴】吸虫纲动物的初期幼虫，常在卵内发育完成。毛蚴多呈圆锥形或梨形，表面被有许多纤毛，已有口和消化系统。含有毛蚴的卵随终末寄主粪便排至水中，毛蚴钻出卵，在水中游动，遇到中间寄主（一般为螺类），即钻入其体内进一步发育，否则死亡。有些种类，如中华支睾吸虫（*Clonorchis sinensis*），含毛蚴的卵被螺食入体内再继续发育。

【包蚴】吸虫纲有些动物的第二期幼虫，一般在螺体内由毛蚴脱去纤毛发育而成。包蚴的形状不定，体壁含上皮、环肌、纵肌及较厚的间充质，间充质内有生殖细胞。包蚴体内构造简单，除原肾

外，空腔中只有若干生殖细胞和胚球，在寄主组织中吸收营养。胚球还可发育为第二代包蚴，在其体内产生尾蚴。有些种类的胚球不成为第二代包蚴而直接发育为雷蚴。

【雷蚴】吸虫纲有些动物的第三期幼虫，由包蚴的一个生殖细胞或一个胚球发育而成。雷蚴的身体长形，有腹吸盘、口、咽、很短的肠道和原肾，还有许多胚球。雷蚴自包蚴体出来后，取食寄主组织，在体内产生新一代雷蚴或尾蚴。

【尾蚴】吸虫纲有些动物的末期幼虫，由第二代包蚴产生或由雷蚴直接产生。身体由长圆形的躯干和细长的尾部组成。有口吸盘及腹吸盘，肠道分两支。还有若干焰细胞和一对排泄管，在躯干后端会合为排泄囊，向尾内延伸为一细长的排泄管至尾部末端开孔。体内的生殖细胞将来发展为成虫的生殖系统。尾蚴钻出中间寄主后，在水中直接钻入终末寄主或第二中间寄主。有些种类的尾蚴附于水草等作物，脱去尾部分泌包囊，被终末寄主食入而进到体内。

【六钩蚴】绦虫纲有些动物的幼虫。当成虫的节片排出寄主体时，节片子宫内的卵已含有发育完成的六钩蚴。幼虫圆形或卵圆，体表无纤毛，体内只有 3 对小钩。中间寄主食入含六钩蚴的卵，到肠内幼虫孵出，通过循环系统到寄主的器官、组织内发育为囊尾蚴。

【囊尾蚴】绦虫纲有些动物的幼虫，由六钩蚴虫在中间寄主（脊椎动物）体内发育而成。囊尾蚴是一个充满液体的圆形或卵圆形的

囊泡，内有一个陷入的头节，头节上的吸盘和小钩面向囊腔。当终末寄主（通常是肉食性的哺乳动物）取食囊尾蚴的中间寄主时，囊尾蚴在终末寄主肠内出来，翻出头节附于肠粘膜上，发育为绦虫。

【假体腔】又称初生体腔或原体腔。为体壁和内脏器官之间的空腔，由胚胎时期的囊胚腔发展而来，肠壁外没有体腔上皮及肌肉等中胚层的衍生物。假体腔和外界不相通并充满体腔液。此种体腔见于线形动物、线虫动物、动吻动物、轮形动物、腹毛动物、棘头动物、曳鳃动物等。

【原体腔】即“假体腔”。

【真体腔】又称次生体腔或体腔。为体壁和内脏器官之间的空腔，由胚胎时期中胚层之间的空隙发展而来。除体壁内层有肌肉及体腔膜外，肠壁外层也有由中胚层细胞衍生的肌肉及体腔膜。在体腔内的脏器则由肠系膜分别与体壁体腔膜和肠壁体腔膜相连系。真体腔通过体腔导管或排泄管开孔于体壁而和外界相通。大多数高等无脊椎动物、全部半索动物和脊索动物都有真体腔。

【裂体腔】动物发展过程中，由内、外胚层之间的中胚层团内部裂开所形成的真体腔，此体腔不断扩大，中胚层团的外层与体壁内层结合，中胚层团的内层与肠壁的外层结合，形成广大的体腔。如环节动物、软体动物、节肢动物、苔藓动物、腕足动物、帚虫动物、星虫动物、螠虫动物等。

【肠体腔】动物发育过程中，由原肠背面两侧凸出的中胚层囊逐渐扩大所形成的真体腔。主要见于棘皮动物、毛颚动物、半索动物和脊索动物等。

【卵裂】动物的受精卵或不经受精而单性发育的卵，在总体积基本不增加的情况下连续分裂形成一定数量细胞的过程。由于卵子所含卵黄的多少和分布情况不同，卵裂的类型也不同，可分为全裂和不全裂（扁裂）两大类。全裂，即分裂面将卵细胞完全分割成两半，子细胞完全分开。不全裂，即大量卵黄集中于卵的一端或卵的中央，导致分裂面不能将卵分成两部分，但卵质部分被分开，含卵黄的部分仍连在一起。

【辐射卵裂】卵裂的一种方式。受精卵自第3次分裂开始，每个分裂球的纺锤体和主轴（动物极与植物极之间的轴线）平行。分裂完成后，上层的每个细胞正好在下层的每个细胞之上。辐射卵裂见于棘皮动物、多孔动物及腔肠动物等。

【螺旋卵裂】卵裂的一种方式。受精卵自第3次分裂开始，每个分裂球的纺锤体倾斜和主轴（动物极至植物极之间的轴线）成一角度。分裂完成后，上层的每个细胞恰好在下层两个细胞的接缝处。螺旋卵裂见于环节动物、少数节肢动物（如藤壶）、除头足纲外的软体动物、纽形动物及海产扁形动物等。

【原口动物】由原肠胚的胚孔形成口的动物。在分类系统中，曾把两侧对称的动物分为原口动物和后口动物两大类。原口动物的特征除口的形成如上所述外，还包括螺旋式卵裂及裂体腔。大多数

有裂体腔的无脊椎动物为原口动物。但以上的特征并非绝对，如腕足动物虽归在原口动物中，而有绞纲却为肠体腔，辐射卵裂。

【后口动物】相对于“原口动物”的一大类动物。原肠胚的胚孔发育为成体的肛门，或原口封闭而在其相反的一端开口形成肛门的一大类三胚层动物。后口动物具肠体腔，卵裂方式为辐射卵裂。如毛颚动物、棘皮动物、须腕动物、半索动物、脊索动物等。

【体节】真体腔的分节动物中，身体的一系列外形相似、内部结构相同的环节之一。环节动物和部分节肢动物各体节的形态及功能大体相似，仅有头部和躯干部的分别，此种情形称同律分节。另一些类群，部分体节出现了形态与功能的分化，如失去附肢或某些体节集中，进一步分化为头部、胸部、腹部等体段，如昆虫纲的头部主要功能为感觉、取食。胸部主要功能为运动。腹部附肢大部分在成体消失，容纳主要的内脏器官，尾端附肢具交配、生殖功能，此种情形称异律分节。体节的出现为动物身体构造的复杂和机能分工的完善提供了进一步发展的可能。

【疣足】多毛纲动物着生在体节两侧的运动器官，由体壁凸出而形成，除头部和尾节外，每节各有 1 对。疣足呈叶状，中空，和体壁相连处无关节。每个疣足分背肢和腹肢两叶，端部各有 1 丛细长的刚毛，刚毛由刚毛囊内伸出，刚毛囊可由肌肉的操纵而翻出。背肢和腹肢内另有一根粗而直的足刺，可加强疣足的支持功能。在背肢基部的背面和腹肢基部的腹面各生出 1 根触须，有感觉功能，有些种类的疣足上还生出充满血液的鳃叶，具呼吸功能。

【口前叶】环节动物口前的一个体节，和围口节共同组成动物的头部。口前叶内有咽上神经节（或称脑）。在积极活动的种类中，如沙蚕，口前叶上还有发达的感觉器官，包括 2 对眼，1 对触手和 1 对肥大的触须。但有些管栖或土栖的环节动物，感觉器官常退化，口前叶仅有感觉或掘土的功能。海产软体动物的担轮幼虫也有口前叶，但成体没有。

【生殖带】又称环带。寡毛纲和蛭纲动物成体中某几个特化的体节。生殖带的位置和形态在不同的蚯蚓间有所变化，如环毛属（*Pheretima*）蚯蚓的生殖带在第 14—16 节，上皮肥厚而呈戒指状，通常无刚毛和节间沟；杜拉属（*Drawida*）蚯蚓的生殖带在第 10—13 节，仅背面较隆肿，腹面可见刚毛及节间沟。大多数水生寡毛类的生殖带薄而不明显。蛭类的生殖带在第 10—18 节，各种类间变异不大。生殖带的上皮层显著增厚，除了一般上皮的粘腺细胞外，还有无数腺细胞及血管、结缔组织等。在动物繁殖期间，生殖带的功能是分泌环带，形成蚓茧或卵袋。

【卵茧】又称卵袋。寡毛纲和一些蛭纲动物在生殖期所产的保护卵和胚胎的构造。产生卵茧时，生殖带上皮分泌一坚韧的环状膜，称环带。虫体后退，环带停留原位，当雌性生殖孔及受精囊孔经过环带时，卵和精子先后进入其内。当虫体完全退出后，环带的两端封闭而形成卵茧，受精卵在其内发育。蚯蚓的茧内可含多个卵，通常发育完成的只有 1—2 个成体。陆栖寡毛类的卵茧一般留在土内，水栖种类的卵茧则附于他物。

【环带】见“生殖带”、“卵茧”。

【雌雄同体】雌性生殖器官和雄性生殖器官出现于同一个多细胞生物体内的现象。雌雄同体常见于低等动物，如全部栉水母动物，绝大多数扁形动物、多孔动物，部分环节动物，少数腔肠动物、软体动物及尾索动物等。雌雄同体的动物多为异体受精。

【雌雄异体】雌性生殖器官或雄性生殖器官只出现于同一个多细胞动物体内的现象。除尾索动物以外，全部脊索动物及许多无脊椎动物均为雌雄异体。这些类群普遍表现出雌雄异形，即雌性个体与雄性个体的外部特征有所区别。较低等的类群中，如水母、沙蚕等均在生殖时期才表现差别。在节肢动物中已广泛显示出雌雄性别间的特征。

【贝壳】软体动物体表具有保护作用的含钙壳片。壳片数目因不同类群而异，少数腹足纲动物的壳很小或完全没有；头足纲如乌贼的壳包埋在套膜内。贝壳由套膜的外表面上皮分泌而成，一般分3层：最外层为角质层；中间为棱柱层，由垂直于角质层的多角形钙质柱构成，排列紧密；内层为珍珠层，由平行于贝壳表面的片状霏石组成，为套膜的整个表面分泌而来，所以随动物寿命的增长而不断加厚。珍珠层表面光滑，具有珍珠光泽。当外界颗粒掉入套膜与贝壳之间时，套膜的分泌物包被其外而逐渐形成珍珠。

【外套膜】简称套膜。软体动物和腕足动物壳内的体壁褶。套膜通常由3层组成。软体动物套膜的外层为表皮层，含许多腺细胞，能分泌贝壳。中层最厚，为皮层，由肌肉与结缔组织交织而成。内层亦为表皮层，常生有纤毛，依靠纤毛摆动获得呼吸、排泄等生

理功能需要的水流及食物。腕足动物的套膜与壳紧密结合，由套膜外层表皮伸出许多含分泌细胞的管状突起达到壳的角质层。

【出水管】软体动物外套腔内的水排出体外的通道。出水管由套膜形成。腹足纲动物的出水管在头部背面右侧，常为一纵向裂开的管状构造。瓣鳃纲的出水管在身体后端，当左右套膜在某一处愈合时，背面的通道为出水管，套膜的腹面游离，可供足出入。凿穴蛤属（*Barnea*）的有些种类，出水管与入水管愈合，外观只能见到中间有条纵沟，当其伸长时，可达贝壳长度的 1—1.5 倍。

【入水管】水流由外界进入软体动物外套腔的通道。入水管由套膜形成。腹足纲许多动物的入水管在头部背面的左侧。瓣鳃纲动物多数种类的套膜在身体后端有两处愈合而形成 3 个孔道，背面的为出水管，紧贴其下的为入水管，套膜腹缘的孔道供足出入。入水管可和出水管紧密结合甚至外表愈合为 1 条长管。

【栉鳃】软体动物的呼吸器官，主要见于腹足纲及较原始的软体动物，如石鳖等。栉鳃在外套腔内，由 1 个长的鳃轴及着生于鳃轴上的许多扁平的鳃丝构成，鳃丝平行排列，形似梳齿。在石鳖等较原始的类群中，鳃轴两侧各有 1 排鳃丝。腹足类的栉鳃只有 1 排鳃丝。鳃丝上有纤毛，栉鳃下面的纤毛摆动使水经过鳃的下面向内流，栉鳃上面的纤毛摆动，使水流经鳃的上面而排出套膜腔。鳃轴内有血管贯穿其中，血液由入鳃血管进入鳃丝，再由出鳃血管流回静脉窦。

【鳃小瓣】瓣鳃纲鳃瓣的基本构造。每个鳃瓣由 2 个片状的鳃小瓣，

称为内鳃小瓣和外鳃小瓣。每个鳃小瓣又由背腹方向纵行的许多鳃丝通过丝间联系连接而成，丝间联系上的小孔称鳃小孔。鳃小瓣前、后端及腹面三面愈合，内面围成的腔称鳃腔，腔内有许多垂直的纵隔连接内鳃小瓣和外鳃小瓣，鳃腔的背面通鳃上腔。鳃丝表面具纤毛，内有血管及支持用的角质杆。水流入外套腔后，经鳃小孔入鳃腔，向背面至鳃上腔，向后流动经出水管排出体外。

【闭壳肌】瓣鳃纲动物最强大的肌肉束。闭壳肌呈圆柱形，连接左右两片贝壳。由于闭壳肌牢固地附于贝壳内面，影响套膜的分泌作用，附着处的贝壳缺少珍珠层而留下明显的闭壳肌痕。瓣鳃纲动物多数种类有两束直径相近的闭壳肌，分别位于身体前部及后部。前闭壳肌一般在口的前上方；后闭壳肌在肛门前下方。有些种类的前闭壳肌退化甚至消失，后闭壳肌特别发达，位置也前移。闭壳肌的纤维通常不具横纹，收缩时使两壳闭合，松弛时由于贝壳背方的韧带具弹性而两壳张开。扇贝的闭壳肌主要功能为运动，肌纤维常有横纹，能迅速收缩和弛张，贝壳击水而移动。闭壳肌又是美味食品，如干贝、江瑶柱、淡菜分别为扇贝、江瑶和贻贝的闭壳肌。

【围心腔】包围软体动物心脏的膜质囊，为体腔的残余部分。肾的一端开口入围心腔，腔内常有围心腔腺，又称凯伯氏腺，为成团的扁平腺细胞。围心腔内有液体，其盐度、化学成分和血液基本相似。许多软体动物的围心腔及其腺体参与了排泄作用。

【齿舌】软体动物特有的取食器官，仅瓣鳃纲无齿舌。齿舌位于口腔底部的齿舌囊内，基本构造包括一条舌状的几丁质板，其表面

有小齿排成整齐的齿列。齿舌板下有软骨及其他构造。取食时齿舌伸出口外，由伸肌和收肌操纵齿舌往返刮取食物。各小齿的齿尖通常向后，当齿舌收回口内时又兼有将食物送入食道功能。齿舌上小齿的形状、大小及排列情形在各个物种中不同，是分类鉴定的重要依据之一。

【海螵蛸】乌鲷 (*Sepia esculenta*) 的贝壳，包于背面的套膜之内。长圆形、钙质，但贝壳内部疏松，很轻，不妨碍乌鲷的迅速游动。壳的周缘为角质，后端中央有 1 锥形骨针。壳的背面略凸而较坚硬，腹面松软，中央有 1 纵沟。海螵蛸是中药名称，又叫乌鲷骨或墨鱼骨，入药有止血、制酸功能，用于胃酸过多、功能性子宫出血等症。

【甲壳】甲壳纲动物的外骨骼。甲壳为体壁的上皮细胞所分泌的表皮，基本构造同其它节肢动物的表皮，但甲壳坚硬的种类中，上表皮为双层，而且是钙化的。上表皮之内为原表皮，分 3 层，上面两层含钙。表皮因含钙而增加了坚硬性，具更好的保护作用。甲壳纲动物的颜色来自体壁下的色素细胞或原表皮外层所含的色素。虾、蟹类经煮熟后出现的红色是由于上皮和组织中色素细胞内含类胡萝卜酮的色素，称虾红素 (astacin)，当色素细胞被破坏，虾红素游离出来，使甲壳呈现红色。

【外骨骼】通常指节肢动物体表被复的表皮，由上皮细胞分泌而来，主要的功能是支持和保护。外骨骼的最外层为很薄的不含几丁质的上表皮，含类脂、鞣化蛋白和蜡质，具有明显的不透性和拒水性。上表皮之下为构成大部分外骨骼的原表皮，主要成分为几丁

质和蛋白质。由于原表皮中的钙质成分或由于蛋白质经鞣化而使外骨骼变得坚硬。节肢动物各体节之间或各关节之间的原表皮没有硬化，因此可以屈曲，保证了运动的灵活性。外骨骼也可向体内凹入成为肌肉的附着点。有些著作中把软体动物、腕足动物、珊瑚体壁的分泌物亦称外骨骼。

【表皮】无脊椎动物复盖在体表的一层非细胞的膜，由上皮细胞分泌而成。线虫动物、环节动物等的表皮又称角质膜，主要成分是脂蛋白，不含几丁质。节肢动物的表皮分为上表皮与原表皮。原表皮的成分为几丁质和蛋白质。在昆虫中，原表皮又分为外表皮和内表皮两部分，表皮的坚硬是由于外表皮中蛋白质鞣化所致。在高等甲壳动物中，把原表皮统称为内表皮，由外向内依次又分色素层、钙化层和非钙化层。表皮的坚硬由于含钙所致。

【几丁质】一种高分子的含氮多糖物质 ($C_{15}H_{26}N_2O_{10}$)，化学构造类似纤维素。几丁质最初是在真菌中发现的，后来发现广泛存在于除扁形动物、纽形动物及大多数后口动物之外的各类无脊椎动物中。节肢动物的节间膜和昆虫幼虫的表皮内，由于几丁质和节肢蛋白 (arthropodin) 的结合，使表皮具有柔韧可屈的特性。昆虫的翅和胸部的关节处，几丁质和另一种称为节肢弹性蛋白 (resilin) 的蛋白质结合，使表皮富有弹性。几丁质和表皮的硬度没有关系。

【头胸甲】又称背甲。覆盖于一些节肢动物头胸部背面和侧面的外骨骼。虾类头胸甲的背面向前突出一尖锐而带齿的额剑，两侧向下延伸，头胸甲和胸部之间形成的空腔称鳃室，鳃室的前、后有

缝，和外界相通，鳃室内有鳃。蟹的背甲宽大，蜃的背甲呈畚箕形。

【血蓝蛋白】一些无脊椎动物血浆中含有的呼吸色素，由铜和蛋白质结合而成的高分子量化合物，携带氧的能力通常远低于血红蛋白。血蓝蛋白携带氧时略呈蓝色，被还原时则无色。血蓝蛋白存在于大多数软体动物，但瓣鳃纲中尚未发现。在节肢动物中存在于高等甲壳类、蜃、蜘蛛、蝎等动物。

【血腔】又称混合体腔。见于节肢动物。胚胎早期出现的体腔囊在栉蚕（*Peripetus*）等动物中分成三部分：一部分在背面形成生殖腺腔；一部分在腹面形成排泄器官的端囊；中间部分的体腔壁解离。后来，代表初生体腔的血管壁破裂而和次生体腔相混合，称混合体腔，由于混合体腔内充满血液，也称血腔。昆虫纲血腔的形成方式在不同类群中有所差别，有些昆虫的卵黄与腹神经索之间的空隙称神经上窦（即昆虫血腔的一部分）。神经上窦的背面为中胚层细胞，两侧的中胚层细胞间出现裂隙即为体腔，不久，各侧的体腔横壁消失成纵行的体腔管。神经上窦不断扩大，最后和左右体腔管沟通而形成混合体腔。

【纺绩器】能将丝腺分泌物纺绩成丝的器官。如蜘蛛腹部的腹面有3对纺绩突，中间的一对纺绩突常被前、后纺绩突遮住。纺绩突由许多管道构成，丝腺分泌物通过管道孔排出，遇空气而凝成富有弹性和韧性的蛛丝。有些种类在纺绩突前方还有一横向的多孔筛板，能纺出粘性的蛛丝。鳞翅目幼虫的纺绩器是下唇中央的一个突起。脉翅目有些幼虫的纺绩器在肛门附近，由马氏管分泌丝质

物。纺足目昆虫的纺绩器在前足跗节上。

【书肺】蛛形纲动物的一种呼吸器官。为体壁内陷形成的囊状构造，位于腹部腹面两侧。每侧的书肺以一横裂隙与外界相通。囊内为一气室，气室后壁凸出若干中空的片状构造，呈书页状排列，页片的两侧也和体壁相连，端部游离。邻近的页片之间有表皮短杆支持，保持页片间的空隙以利空气流通。页片内有血液流动，由于这里的表皮很薄，可行使气体交换。

【书鳃】肢口纲动物的呼吸器官。着生在腹部第 2—6 对附肢上。每一书鳃由百余个薄片构成，排列似书页。鳃片的表皮很薄，但外缘较硬，片内有血液流通。腹部附肢不断拨动，使海水流经鳃片表面进行气体交换。当附肢向前拨动时，驱使血液流入鳃片内，向后拨动时则使血液流回体内。

【翅（昆虫）】昆虫的飞行器官。由中胸和后胸的背板向两侧扩展形成。翅由两层体壁合成，里面的气管等即成为翅脉。翅脉的分布型式称脉相或脉序，在各类昆虫中比较恒定，在昆虫分类和系统发展的研究中有重要意义。翅的结构可分几种类型：（1）膜翅。翅透明，质地均匀而较薄。（2）革翅。半透明，质地柔韧，翅脉可见，又称复翅。（3）鞘翅。全部骨化，不见翅脉。（4）半鞘翅。翅的端半部膜质透明，基半部骨化而无翅脉。低等的昆虫无翅。已经有翅的类群中，有些种类由于营寄生生活，翅退化。

【触角】多数节肢动物头部的分节附器，主要的功能为感觉。甲壳纲动物有 2 对触角，营浮游生活的种类，其中的 1 对触角很大，常

为运动器官，在雄性中，有时触角形态变化而适于在交配时把握用，陆栖节肢动物除蛛形纲，肢口纲及原尾类昆虫无触角外，都有 1 对触角。昆虫的触角最发达，基本构造分 3 部分：（1）梗节，为触角最基部的 1 节，连接头部体壁；（2）柄节，为触角第 2 节；（3）鞭节，在柄节端部，通常分成多数亚节。在各类昆虫中，鞭节的形态变化最大，除常见的丝状触角外，还有鞭状、羽状、鳃片状、棒状等。昆虫的触角上有多种感受器，具有嗅觉和触觉功能。

【触角腺】甲壳纲动物的一种排泄器官。触角腺位于第 2 触角基部，其基本构造包括 1 或长或短的排泄管和 1 个膨大的薄壁膀胱。膀胱开口于触角基部，排泄管的内端终止于 1 个盲囊，称端囊。高等甲壳类的触角腺常较复杂，端囊多皱褶，排泄管上段成为腺体，略呈绿色而有皱壁的囊，因此触角腺又称绿腺，排泄管下段迂回盘曲，最后连接膀胱。有些虾、蟹的触角腺无盘曲的管道。触角和胸部的动脉分支到排泄器的腺体部分。排泄物主要为鸟胺酸。

【口器】节肢动物头部用以取食的特化附肢。口器的主要构造包括 1 对大颚和 2 对小颚，在昆虫中分别称上颚和下颚。肢口纲和蛛形纲无真正的颚。甲壳纲少数类群，如介形目（Ostracoda）缺第 2 对小颚。部分唇足纲，倍足纲和昆虫纲的第 2 对小颚（下颚）愈合为下唇。头部另有 1 游离的骨片遮盖在口的前面，称上唇，通常也作为口器的一部分。昆虫的口器因适应于不同的食物而有多种变化。以固体为食的昆虫，上颚发达，用以咀嚼。取食动物、植物组织内液体的昆虫，上颚、下颚细长，呈针状，可刺入寄主体内。取食花蜜等液体的昆虫，上颚退化，下颚合成细长的管，平

时卷曲如弹簧，吸食时伸长。蝇类的下唇特别膨大，取食固体食物时先分泌唾液，溶解其表面，再吸入口内。

【听器】昆虫的听觉器官。蝗虫和蝉类的听器在第1腹节两侧，螽类和蟋蟀等的听器在前足胫节基部，每足1对。鳞翅目昆虫的听器常在后胸或腹部基部两侧。听器的基本构造包括表皮质的鼓膜、由气管膨大而成的气室和若干特殊的听觉细胞，并且有神经和它相连。蝗类的听觉范围在1.5千赫以下至80千赫以上。某些夜蛾感受的声波频率范围为每秒3—240千赫，其敏感区为15—60千赫，相当于蝙蝠飞行时发出探测物体的声波，甚至能辨别三维的声源以逃避蝙蝠的捕食。昆虫的另一类听器称江氏器，在触角的柄节上，以雄蚊最发达。埃及伊蚊（*Aedes aegypti*）雄蚊对每秒380赫兹的频率最敏感，相当于雌蚊飞翔发出的声音，以此寻找配偶。

【墨囊】头足纲乌贼、蛸类直肠分出的1个盲囊，有细长的管道通直肠末端。囊内有直肠腺特化成的墨腺，分泌物主要含黑色素。当乌贼等受到侵扰时，墨腺分泌的墨汁通过肛门至外套腔，随水流喷出体外，染黑海水，逃避敌害。墨腺分泌的墨汁也是很好的色彩原料。

【平衡棒】双翅目昆虫及介壳虫雄虫后翅退化而成的构造，形似细棍，端部膨大。有些蝇类还有1鳞状膜覆盖在它上方。在飞翔时，平衡棒的摆动和前翅拍击的频率相同而方向相反，具有保持平衡的功能。当人为地去除平衡棒时，前翅的拍击频率、拍击幅度及飞行持续时间均无明显变化，但明显影响飞行的稳定性。

【螫刺】胡蜂、土蜂、蜜蜂等御敌或猎食的器官。螫刺由雌蜂的产卵器特化而来，但已失去产卵功能，卵由螫刺基部产生，蜜蜂的工蜂则完全失去生育能力。螫刺的构造颇复杂，平时缩入腹部末端的螫刺腔内，以工蜂为例，螫刺基部有一套传动装置，受肌肉牵制带动端部的刺针。刺针细长，包括 1 根背面的中针和腹面的 1 对螫针，二者以滑槽互相关连。能穿刺入动物体的是螫针，其末端具倒钩。螫刺内端有毒腺相连，螫刺活动时，流出毒液。毒液的成分较复杂，包括组氨及某些蛋白质，毒液中的透明质酸酶有助于毒素在被螫动物组织中散播；卵磷脂酶则使被螫动物体内的溶血卵磷脂释放，后者是一种很强的溶血物质。

【蜂王浆】又称蜂乳。蜜蜂工蜂咽腺分泌的乳白或淡黄色乳糜。工蜂羽化出来后的头几天，分泌蜂王浆饲喂幼虫，一般幼虫在孵出 3 天后即改饲花蜜及花粉，将来发育为工蜂。未来将成为蜂王的幼虫，则终身饲以蜂王浆。蜂王浆含蛋白质、葡萄糖、脂类、矿物质、B 族维生素和激素等，主要的成分为 10-羟-2-壬烯双酸，还有人分离出生物蝶呤，而一般幼虫的巢室中的食物则不含生物蝶呤。蜂王浆入中药，主治营养不良、神经衰弱、风湿性关节炎等症。

【蜂王信息素】蜜蜂蜂王上颚腺分泌的化学物质，其中的一种活化物质为 9-氧-2 反壬烯双酸，在蜂王婚飞时能吸引雄蜂与之交配。蜂王返巢后，工蜂从蜂王身上舐取此种物质后，可部分抑制工蜂的卵巢发育及抑制构筑王室的行为。但 9-氧-2 反壬烯双酸与上颚腺分泌的另一种挥发性化合物 9-羟壬烯双酸协同作用时，则可完全抑制工蜂的上述生理变化及行为。此外，在蜂群分封时，9-氧-

2 反壬烯双酸有兴奋和激发蜂群的作用，9-羟壬烯双酸则有安定的作用。

【蜜露】同翅目一些昆虫肛门的排出物，常在该昆虫下方的植物上形成一层薄而甜的粘液。如蚜虫和介壳虫，一昼夜排出的蜜露可达虫体自身重量的数倍。蜜露中含多种氨基酸，大体上反映出寄主植物液汁的成分，但含量最多的为糖类，约占排出物总量的80%，其中包括直接从植物中吸食的糖和自身合成的多糖类。由于蜜露中的糖分吸引了蚂蚁和其他昆虫，蚂蚁为获取蜜露而排斥害虫的天敌，影响生物防治效果。蜜露沾染在叶上，影响叶片的正常生理功能，而且容易滋生霉菌。中东有些国家人工收集蜜露供食用。

【围心窦】包围心脏的空腔，内含血液，为血腔的一部分，见于昆虫和其它较大型的节肢动物。围心窦在身体背面，有背隔膜将它和围脏窦隔开，围脏窦内的血液可通过背隔膜上的孔隙进入围心窦。

【增节变态】一种原始的变态类型。幼期和成体的外形相似，但个体大小、体节数目和性器官的发育程度不同。新增的体节由尾节的前节产生，通常每蜕皮1次，增加1节。多数节肢动物中，除体节数目增加外，附肢数目也随之增加。在昆虫中，仅原尾类行增节变态，初孵时为9节，成虫为12节。

【表变态】一种原始的变态类型。幼期和成体除大小有异，外形几乎无差别，主要的特点是性成熟后还继续脱皮。有些多足纲动物

以及双尾目、缨尾目、弹尾目昆虫行表变态。

【原变态】蜉蝣目昆虫所特有的变态类型。蜉蝣幼期生活于水中，变为成虫前要经过一个“亚成虫期”。亚成虫同成虫的形态一样，有翅，能飞行，但经历的时间很短，一般为数分钟到一天，再脱一次皮而为成虫。由于亚成虫体内性腺已趋成熟，可以认为已是成虫，并有继续蜕皮的情形。

【不全变态】又称直接变态。昆虫的一种变态类型，发育过程只经过卵、幼期和成虫 3 个虫期。幼期和成虫的外部特征基本相同，仅翅和外生殖器未完全发育。初孵幼体通常无翅，随生长、蜕皮，向外生长的翅芽逐步显露和增大。不全变态的昆虫如直翅目、啮目、螳螂目、蜉蝣目、革翅目、等翅目、啮虫目、纺足目、半翅目、同翅目、食毛目、虱目、缨翅目等，幼期和成虫的栖息场所、食性相同，称为若虫，此类变态又称渐变态。蜻蜓目、襀翅目昆虫的幼期生活于水中，出现某种“暂时性构造”如气管鳃或特化的下唇，外形和成虫不同，称为稚虫，此类变态又称半变态。缨翅目及少数同翅目昆虫的若虫在转变到成虫之前，经过一个不食少动，类似蛹的时期，但若虫仍具有外生翅芽，此类变态又称过渐变态。

【完全变态】高等昆虫的变态类型。发育过程经过卵、幼虫、蛹、成虫 4 个时期。幼虫的栖息环境和食性往往和成虫不同，形态上也有明显差别；如有些幼虫具腹足、呼吸管等，成虫没有；有些幼虫为咀嚼式口器，成虫则为虹吸式等。此外，幼虫时期的翅是在体内发育的，不显露于外。幼虫的上述构造改变为成虫的构造

是在蛹期进行的。具有不食不动而体内经历巨大变化的蛹期，是完全变态最重要的特点。

【蜕皮】节肢动物的一种周期性脱皮现象。由于节肢动物外骨骼限制了身体的生长，只有在旧皮脱去、新皮形成尚未骨化的情况下，身体才能进一步增长。每个动物通常要经多次脱皮才达到成虫阶段。蜕皮过程一般包括几个时期，在昆虫中，蜕皮之前上皮细胞的体积增大，同时分裂繁殖，随后旧表皮和上皮细胞分离，由上皮细胞分泌新的表皮质层。新旧表皮之间有蜕皮腺分泌的蜕皮液，将80%—90%的旧的内表皮分解，用以重建新表皮。蜕皮期间，虫体吸入空气或水，肌肉收缩增加体腔压力，使头部或胸部背面的旧表皮开裂成缝，逐渐脱去旧表皮。蜕皮以后，形成大部分原表皮，原表皮外层骨化变硬，常伴有黑化过程。在蟹类中，蜕皮前期伴有钙的解离并进入血液。蜕皮受激素控制。

【化性】昆虫在一年内发生的世代数，世代即昆虫自卵开始至成虫产生后代为止的个体发育史。有的昆虫1年内发生的世代数是恒定的，如大地老虎、槐尺蛾等，每年只有1代，称为一化性昆虫。东亚飞蝗1年发生两代，称二化性昆虫。蚜虫类一年发生10几代以上称多化性昆虫。同一种昆虫在不同地区发生的世代数可能不同，如二化螟在东北仅发生1代，在广东可发生5代，这是由环境因素（主要是温度）直接影响的结果。大地老虎、天幕毛虫等不论在南方或北方，均为每年1代，则和滞育有关。

【滞育】节肢动物在外界尚处于适宜的环境条件下，生长发育等生理活动出现暂时停滞的状态。动物进入滞育后，即使给以有利的

条件，也不会很快恢复正常发育，在昆虫和螨类中，此种现象尤为显著。滞育持续的时间自数周至数年不等，可发生于生活史中任一虫期，而以蛹期最常见。诱导滞育发生的外界因素包括缺乏食物、干燥、温度等，但关系最密切的为光照。通常短光照是引起冬季滞育的昆虫的信息。由于日照长度的变化和气温变化密切相关，短日照预示着低温和食物质量的下降等不利因素即将来临，动物即以停止生长和生殖来度过不利环境条件。有些昆虫在长日照情况下发生滞育，它们对不良信号的敏感虫期在夏季。一定的低温条件，通常是解除滞育的关键因素。控制滞育的内在因素是激素。外界的信号通过动物脑神经分泌细胞的活动而分泌脑激素。卵期滞育的昆虫，由于脑激素活化了成虫的咽下神经节，使其分泌卵滞育激素而进入滞育。以幼虫和蛹滞育的昆虫，因为脑神经分泌细胞停止活动，前胸腺未受到脑激素的活化而不分泌蜕皮激素。以成虫滞育的昆虫是成虫期缺少咽侧体分泌的保幼激素而抑制了性器官和卵的成熟，滞育期结束前，脑神经分泌细胞的活动再活化咽侧体产生保幼激素。

【气管系统】陆栖无脊椎动物的一种呼吸系统，由开口于体壁的气门和一系列气管组成。有爪动物门的栉蚕，气门很多，排列不规则而且无开闭机构，气管通常不分支，直接分布到各器官。蛛形纲的气门一般在附肢基节的后方。蜘蛛体内的气管有 2 类，有的气管密集成束伸入血腔中，交换气体后，氧由血液输送，称气管肺；另一类气管分支入组织中，直接进行气体交换。昆虫纲的气管系统最发达而完善。气门开口于体节两侧，大部分昆虫的气门之内为体壁下陷形成的气门腔，气门腔的外口有特殊构造可以开闭，控制空气的出入和防止水分散发或异物进入。气门腔的内口

连接气管。气管也由体壁陷入而成，有相当固定的排列方式。大型气管为主干，纵行于血腔内背侧、腹侧和两侧。主干之间有横行气管相联系。空气由气门入主干沿分支的小气管至微气管进入组织或细胞内，在此直接行气体交换。气管内面有表皮形成的螺旋丝，富有弹性，使气管保持开张状态。有些昆虫的气管局部膨大为气囊，囊壁薄而无螺旋丝，具有促进气管内的通风作用及增加身体在水中和空气中浮力的作用。

【昆虫信息素】昆虫分泌的化学物质，能引起同种或异种昆虫的行为反应。引起同种个体反应的信息素除蜂王信息素外，还有：（1）性信息素，多数为雌虫释放，吸引同种的雄性个体。蛾类释放性信息素的腺体通常在第 8、9 腹节之间。（2）追踪信息素，为多种蚂蚁和少数白蚁的肠道或上皮腺分泌至地面的物质，指引同种个体寻觅食物。（3）聚集信息素，能诱集昆虫在取食、交配或越冬场所聚成大群。如小蠹虫的粪便中含有的物质能吸引同类聚集于针叶树为害。（4）报警信息素，蚂蚁、蜜蜂、白蚁等上颚腺或腹部腺体的分泌物，使同类迅速逃离或显示攻击行为。蚜虫的此种信息素由产蜡的分泌腺从腹管散发出的。当蚜虫受到捕食者攻击时，其它蚜虫由触角感知报警而离散。引起异种昆虫行为反应的信息素已知有：（1）益他信息素，该化学物质引起有利于另一种昆虫的行为。如蛾类卵散发的信息素吸引赤眼蜂趋而产卵；植物产生的某种物质吸引害虫来取食。（2）益己信息素，该化学物质有利于释放者本身。如半翅目许多昆虫散发的气味能驱走一些捕食者等。

【内分泌器（昆虫）】影响昆虫的生长、蜕皮、滞育等生理现象的

激素调节和控制的器官。主要的内分泌器有：(1) 脑神经分泌细胞，存在于昆虫前脑，分泌物称脑激素或活化激素，可活化其它内分泌器。在有些昆虫中，脑激素可促进卵巢发育或表皮骨化。(2) 咽侧体，一对，位于脑后。分泌物称保幼激素，在幼虫时能抑制成虫特征的出现。(3) 前胸腺，一般位于前胸，分泌物称蜕皮激素，引起昆虫的蜕皮。绝大多数昆虫在成虫时，前胸腺退化。脑神经分泌细胞的分泌物贮存于咽侧体附近的心侧体中，再输送到咽侧体，使其分泌保幼激素。脑激素同时又活化前胸腺，产生蜕皮激素。保幼激素与蜕皮激素共同作用而出现蜕皮或变态。当保幼激素含量很高时，蜕皮后仍保留幼虫特征。在全变态昆虫中，若虫后期的咽侧体停止分泌保幼激素，蜕皮后即成为成虫。在不完全变态昆虫中，两种激素共存而保幼激素含量减少时，蜕皮后成为蛹。蛹期时，咽侧体停止分泌活动，在蜕皮激素单独作用下，蜕皮后成为成虫。成虫时，咽侧体再度活动，分泌物能促使卵的成熟。此外，滞育的发生与脑激素停止活化前胸腺有关。食道下神经节的分泌物能使家蚕产生滞育卵。

【内分泌器（无脊椎动物）】已知沙蚕的脑内有几类神经分泌细胞，所产生的激素能促进第二性征的出现（如疣足和眼的增大等）以及卵的成熟。高等甲壳类如虾、蟹，有 3 种内分泌腺控制蜕皮。Y 腺：在触角中或第 2 小颚节内，分泌蜕皮激素引起蜕皮。X 器和窦腺：都在眼柄内。X 器的分泌物先贮存到窦腺中，再释放到血液内，能抑制蜕皮激素的作用。X 器和窦腺的分泌物还能调节色素细胞内色素的移动。软体动物中，腹足类的脑及其它神经节中的分泌细胞，有的分泌促生长的激素，有的分泌阻滞生长的激素。雌雄同体的螺类，通常雄性器官先成熟，也是受激素控制。章鱼

(蛸)眼柄上有眼腺分泌的激素能促进性细胞的成熟及生殖导管的发育。

【排泄器官(无脊椎动物)】无脊椎动物用以排除体内废物的器官。大体分几种情况：(1) 无特殊排泄器。如腔肠动物等，由各个细胞直接进行气体交换和排出废物；棘皮动物由体腔液中的变形细胞收集代谢产物，穿过皮鳃逸出体外。(2) 收缩泡。见于淡水产原生动物及多孔动物。(3) 原肾型。见于扁形动物、有假体腔的动物及环节动物和软体动物的幼虫。基本构造为 1 对纵行的排泄管及数目不等的焰细胞，焰细胞中空，内有 1 束不断摆动的纤毛，把收集的废物送至排泄管，由排泄孔排出。但线虫类只有 1 个由原肾细胞衍生的管状或 H 状细胞，细胞内无纤毛，排泄管为细胞内管道。(4) 后肾型。见于环节动物和软体动物。基本构造包括开口于体腔的 1 对或多对腺状器官，由肾孔排出代谢废物。环节动物的后肾管(外胚层来源)可和中胚层来源的体腔导管合成共同的管道及排泄孔。有的种类也可由原肾管与体腔导管合成。有些甲壳纲动物具有类似后肾管的排泄器，称触角腺。(5) 马氏管。见于陆栖的节肢动物。马氏管呈丝状，自 2 条至数百条，浸于血液中。马氏管的管壁只有 1 层细胞，末端为盲端，另一端通入肠道，代谢废物由肛门排出体外。

【神经系统(无脊椎动物)】大体上有 3 种型式：(1) 网状神经系统，为动物界最简单和最原始的神经系统，在腔肠动物中最典型，包括皮肤细胞之间的感觉细胞和皮肤细胞层基部的神经网。神经网由双极或多极神经细胞组成，它们的细胞突起与感觉细胞突起相联系。神经网主要在外胚层基部，大多数腔肠动物内胚层基部

也有神经网，但不甚发达，在中胶层内也发现了神经细胞，表明外层与内层网之间的联系。神经细胞的突起伸达皮肤细胞的肌纤维。栉水母类和棘皮动物的神经系统，虽然表现出某种集中趋势，仍属于网状分布。(2) 梯式神经系统，随着多细胞动物两侧对称体型的发展，辐射式的网状神经系逐渐集中，在头部增大为脑，在后面成为几条纵神经索，索间联系仍呈网状，假体腔动物如线虫等属于此类。有些动物的腹面两条神经索显著增粗，其余的退化或消失，索间联系形成若干似梯子的横档，在扁形动物中最典型。涡虫纲的脑，中心为神经纤维束，外周为形态、大小不同的神经细胞体，常聚成团。(3) 链式神经系统，又称双腹式神经系。两条腹神经索互相靠近，外观上成为 1 条纵索。在神经索上出现了按体节排列的神经节，神经细胞体都在神经节内，由此发出的神经只含细胞的突起。神经节连同它们之间的神经联系组成中枢神经系；分布到身体各部的神经则为周围神经系。如环节动物、软体动物及节肢动物。

无脊椎动物神经细胞之间的连接和脊椎动物相同，都通过突触，极少例外。但无脊椎动物的中枢神经为实体而不成管状。以上几类神经系统按其形态和生理功能又可归为两大类：(1) 扩散型神经系，多与辐射对称体型有关，如腔肠动物、栉水母、棘皮动物和扁形动物等。主要特点为神经束中既含有细胞体又有细胞突起；其次，神经细胞的突起尚未分化为轴突与树突，因此神经冲动的传导缺乏方向性。(2) 集中型神经系，如环节动物、软体动物、节肢动物等。特点为神经系统开始和上皮分离；神经细胞体集中在神经节内；细胞突起分化为 1 个把冲动传出细胞体的轴突和 1 个或数个把冲动传入细胞体的树突。神经细胞也进一步集中到前端成为发达的脑。

【鳍式】表示硬骨鱼类鳍的结构方式。背鳍，以“D”表示；胸鳍，以“P”表示；腹鳍，以“V”表示；臀鳍，以“A”表示；尾鳍以“C”表示。鳍的硬棘数目以罗马数字表示；鳍的软鳍条数目，以阿拉伯数字表示。如果硬棘和软鳍条所支持的鳍膜彼此有联系，则在两数之间加“—”符号。硬棘（或软鳍条）有数目范围，则在数目间加“~”符号。如鲤鱼鳍式：D. Ⅲ ~ Ⅳ—17~18；P. Ⅰ—15~16；V. Ⅱ—8~9；A. Ⅲ—5~6。鲮鱼鳍式：D. Ⅳ，1—8；P. 16~17；V. Ⅰ—5；A. Ⅲ—8；C. 14。

【齿式】表示哺乳动物异型齿的排列顺序和数目的公式。哺乳动物的牙齿，由前至后依次分化为门齿，以“I”表示、犬齿，以“C”表示、前臼齿，以“P”表示、臼齿以“M”表示。左右两侧数目相同，取其一侧，并以横线分隔开上颌和下颌，即齿式为 $\frac{I. C. P. M.}{I. C. P. M.}$ 。把具体动物各类牙齿的数目填入相应的代号位置上，则可看出该动物的齿式和计算出它的总齿数。如马的齿式为 $\frac{3. 1. 3. 3.}{3. 1. 3. 3.} = 40$ 。牛的齿式为 $\frac{0. 0. 3. 3.}{3. 1. 3. 3.} = 32$ ，即牛上颌无门齿及犬齿。鼠的齿式为 $\frac{1. 0. 0. 3.}{1. 0. 0. 3.} = 16$ 。猴和人齿式均为 $\frac{2. 1. 2. 3.}{2. 1. 2. 3.} = 32$ 。哺乳动物的齿型和齿数在同种个体中是稳定的，因此，齿式是哺乳动物分类学的重要依据之一。

【鳞片】脊椎动物的一种皮肤衍生物。(1) 鱼类的鳞片，由表皮和真皮两部分构成。可分为 3 种：盾鳞，见于软骨鱼类；硬鳞，见于现存的小部分硬骨鱼；骨鳞，见于绝大多数的硬骨鱼类。常见

的硬骨鱼所披的骨鳞，呈覆瓦状排列，鳞片薄而富有弹性。鳞片与粘液共同形成鱼体表面的保护层，既可防止病菌侵入，又可减小游泳的阻力。许多鱼类体侧的侧线管穿过鳞片，构成侧线鳞。个别鱼类鳞片变异，如箱鲀体表鳞片呈板状，彼此合成体甲，海龙、海马鳞片形成骨匣。(2) 蛇和蜥蜴的鳞片，由表皮角质化构成，称角质鳞。各鳞片均连于表皮上，蜕皮时整张脱落。(3) 鸟类的跗蹠部、趾和喙，具有角质鳞。(4) 有的哺乳类的尾和脚存在有角质鳞，如啮齿类。

【盾鳞】软骨鱼类特有的鳞片。外形分两部分：露出皮肤呈棘状的称鳞棘；埋入皮肤呈板状的称基板。鳞棘尖向后，由珐琅质（外层）和齿质（内层）构成，中央有髓腔。基板底部有孔，神经和血管经此孔入髓腔，使盾鳞获得营养和感觉功能。盾鳞的鳞棘向后延伸，游泳时，使水流平顺，减少旋涡，提高游速。盾鳞随鱼体增长而增多，亦能不断脱落，不断补充。不同的软骨鱼，盾鳞的形态略有不同。如沙拉真鲨 (*Carcharhinus sorrah*) 鳞棘有 5 个尖 3 个纵嵴。尖头斜齿鲨 (*Scoliodon sorrakowah*) 鳞棘有 3 个尖 3 个纵嵴。

【硬鳞】由真皮衍生出的坚硬厚鳞。已绝灭的古鳕鱼 (*Palaeonisci*)、古肺鱼 (*Dipteridea*)、古总鳍鱼 (*Crossopterygii*) 和现代的软骨硬鳞类 (*Chondrostei*)，以及全骨类 (*Holostei*) 身体均披硬鳞。这些鱼类的硬鳞在结构上各有不同。软骨硬鳞类中的多鳍鱼 (*Polypteriformes*) 和古鳕鱼的硬鳞均由三层构成：基层是致密内骨层，中间是齿质管质层，外表是坚硬闪光的硬鳞质层。古肺鱼和古总鳍鱼的硬鳞，基本结构与上述的相

同，仅中间的齿质管质层特别加厚。全骨类雀鳝（*Lepidosteus*）的硬鳞仅由内骨层和硬鳞质层构成，无中间的齿质管质层。硬鳞坚厚，鳞片之间以凹凸关节面相嵌合，斜行排列。这种鳞片使鱼体活动很受局限，在进化过程中逐渐被骨鳞所代替。

【骨鳞】真骨鱼类所特有的鳞。骨鳞柔软扁薄，富有弹性，一般为圆形或亚圆形，前端插入鳞囊内，后端翘起，压叠在下一鳞片的前端，呈覆瓦状排列。鳞片由两层构成：上层是骨质层，比较硬脆。下层是纤维层，比较柔韧。鳞随鱼体增长而增大、增厚。鳞片生长的特点是，骨质层一圈一圈的扩大，构成若干同心环纹；纤维层一片片的向外周铺展。这样生长的结果，鳞片既增大又增厚。一年之中，鱼体增重速度快慢相间，使骨鳞上的环纹疏密交替，周而复始，构成年轮。据此可推测鱼类年龄。根据骨鳞后部的形态，可分为圆鳞和栉鳞两种。圆鳞后缘光滑，如鲱形目、鲤形目的鱼鳞；栉鳞后缘栉齿状，如鲈形目、鲷形目的鱼鳞。大黄鱼、和石斑鱼（*Epinephelus*）既有圆鳞又有栉鳞。

【圆鳞】骨鳞中的一种。圆鳞薄而富有弹性，由上、下两层构成。上层为骨质层，较脆薄；下层为纤维层，有韧性。圆鳞能随鱼龄的增长而加大，并构成年轮（参见“骨鳞”）。圆鳞的骨质层出现凹沟，称为鳞沟。它可使鳞片增加柔软性和弹性，利于弯曲。不同种类的鱼，鳞沟排列各异。骨质层出现的隆起线，称鳞嵴。鳞嵴基本上是连续的，作环圈状排列。各类鱼鳞嵴结构不同。鲤形鳞：鳞嵴环绕中心，鳞沟向鳞片前后延伸，如鲤形目鱼类。鲱形鳞：鳞嵴作同心圆排列，鳞沟呈波纹状平行排列，如鲱形目鱼类。鳕形鳞：鳞嵴呈颗粒状同心圆排列，鳞沟向外辐射，如鳕科鱼类。

【侧线】鱼类和水生两栖类所特有的皮肤感觉器官。侧线以一定的线条形式向身体的前后延伸，在头部形成复杂的分支，一般躯干部两侧各具一条，直达尾部。侧线呈管状或是沟状，其感觉部分是神经丘。神经丘由感觉细胞和支持细胞组成。感觉细胞一端联神经纤维，一端有感觉纤毛，若干纤毛聚集成束，套在胶质的顶内。侧线管（沟）内充满粘液，神经丘浸在粘液之中。当水流冲击鱼体，通过管内粘液，引起胶质顶倾斜时，便可将刺激传递到神经中枢。侧线的主要机能是感知水流，作为趋流性定向的辅助器。在水中，视觉定位是很差的，必须有侧线辅助视觉，方能确定远距离物体的位置。这种作用相当重要，它涉及到摄食、避敌、洄游等一系列活动。

【侧线鳞】侧线管或侧线管分支所通过的鳞片。绝大多数硬骨鱼都具有侧线鳞，仅少数硬骨鱼和全部软骨鱼侧线不通过鳞片，而是直接开口在皮肤，不具侧线鳞。侧线鳞的数目是鱼类分类的根据之一。它常在鳞式中表示出来。鱼类的鳞式：侧线鳞数
侧线上鳞数
侧线下鳞数，侧线鳞数是指从尾部直达鳃盖上方，具有孔的鳞片数，侧线上鳞数即从侧线鳞上方至背鳍前方的斜列鳞片数，侧线下鳞数即从侧线下方至臀鳍（或腹鳍）前方的斜列鳞片数，如青鱼的鳞式为 $41-42 \frac{6}{4}$ 。

【鳍】软骨鱼类和硬骨鱼类的运动和平衡器官。鳍着生于鱼体躯干和尾部，皮肤延长部分特化形成，由鳍棘、鳍条和鳍膜组成。鳍棘是坚硬不分节、不分叉的鳍条。软骨鱼类鳍条由不分节、不分

叉的角质化物形成，故称角质鳍条。硬骨鱼类鳍条由分节、分叉的骨质形成，故称骨质鳍条。鳍的结构常用鳍式来表示。如鲤鱼的腹鳍鳍式：A. $\text{III} - 5 \sim 6$ 。A. 表示腹鳍； III ，表示有 3 条鳍棘；“—”表示鳍棘连鳍膜； $5 \sim 6$ ，表示有骨质鳍条 5 至 6 条。鳍着生于背中线、腹中线及尾部者称为奇鳍；着生于鱼体左右两侧者称为偶鳍。

【奇鳍】着生于鱼体（含圆口类）背中线、腹中线及尾部的鳍，即背鳍、臀鳍、尾鳍。鳍片两侧基部富有肌肉，可使鳍产生摆动。背鳍和臀鳍作波浪式运动，使身体稳定，防止倾斜，犹如船的龙骨。特殊体形的鱼类，背鳍和臀鳍可加速游泳，如蝶形目鱼类。尾鳍的作用，一是游泳时，左右拨水，推进鱼体前进；二是静止时，保持身体平稳。尾鳍的形态和游速有密切关系。某些鱼类因适应不同的生态环境和生活习性，奇鳍也随之转化为不同的特殊器官。如鮫鰐的第一背鳍特化为“钓竿”；鲫鱼的第一背鳍特化为吸盘；弹涂鱼的尾鳍有呼吸作用；雄性食蚊鱼的臀鳍成为交配器等。

【偶鳍】着生于鱼体左、右侧的成对鳍。位于鳃裂附近的为胸鳍。位于臀鳍前方和腹中线两侧的为腹鳍。肩带支持胸鳍，腰带支持腹鳍。胸鳍一般较大，有平衡作用。鲕类胸鳍扩大与头躯连接构成体盘，成为主要运动器官。硬骨鱼类游泳时，需胸鳍贴身；如骤然停游，胸鳍需举起；如转向游泳，需一侧胸鳍划水，一侧贴身。某些鱼类胸鳍特化，如弹涂鱼胸鳍臂状，用以爬行；飞鱼胸鳍延长如翼，可滑翔。一般腹鳍较小，协助其他鳍作平衡和转弯的作用。腹鳍的位置成为鱼类分类的依据之一。腹位（躯干腹部），如鲈、鲤；胸位（鳃盖后方），如鲈鱼、黄花鱼。喉位（两

鳃盖之间)，如鳙鱼。潜伏泥沙生活的鱼类，腹鳍变小或消失，如鳗鲡。腹鳍特化为硬棘，如三棘鲃。雄性鲨鱼腹鳍内侧特化为交配器。

【正尾】又称正形尾。鱼类的一种尾鳍，常见于硬骨鱼类。正尾的外形完全对称，形成相似的两叶鳍片。鳍片由软鳍条支持，无硬棘。正尾的内部结构不对称：尾椎骨末端上翘；尾下骨较尾上骨发达。正尾的形态与游速有密切关系，如鳍片深凹，正尾呈新月形，尾柄细而有力则游速快、游程长，如金枪鱼、鲑鱼、鲭鱼等。如鳍片中间凹陷，尾柄无明显变化，则游速不快，如鲤鱼等。

【歪尾】又称歪形尾。鱼类的一种尾鳍，常见于鲨类和鲟类。歪尾外形和内部结构均不对称。外观：歪尾上叶较大，向背侧延伸，下叶较小，不延伸。内部结构：歪尾的鳍片内均有骨骼支持，但不对称。上叶内有尾椎骨、尾上骨及尾下骨支持，下叶仅有尾下骨支持。歪尾的尾柄细长，能强有力地摆动尾鳍，故鲨类和鲟类是善于快速游泳的鱼类。

【鳔】又称鱼泡。存在于大多数硬骨鱼类，少数硬骨鱼和软骨鱼类不具鳔。鳔为中空之囊，位于腹腔背侧。鳔壁由纤维膜、平滑肌、弹力结缔组织、血管神经及粘膜构成。鳔由鳔体和鳔管组成。不同类群的鱼，鳔的形态不同，如鲟鱼、鲑鱼和狗鱼鳔体呈椭圆状囊袋；鲈鱼的鳔体呈马蹄状，分3室；鲤形目分2室。鳔管存在者称喉鳔类，如鲱形目、鲤形目。鳔管不存在者称闭鳔类，如鲈形目。鳔管连于鳔体和食道之间，作为吸气的排气的通道。无鳔管的鳔，内部气压由气腺（泌气）和卵圆室（吸气）调节。鳔能

调节鱼体比重，即鳔内充气，鱼体上浮；鳔内排气，鱼体下沉。充气和排气成为动态平衡，使鱼体维持在一定的水层中。有的鱼的鳔有呼吸作用，如肺鱼、多鳍鱼、弓鳍鱼和雀鳝。有的鱼的鳔能传导声音，如鲤形目鱼类。鳔和内耳之间有一串小骨，鳔能扩大外界振动的振幅，通过小骨传到内耳。有的鱼的鳔有发声作用。如大、小黄鱼的鳔与肌肉韧带相连，可使鳔发声。

【咽齿】鲤科鱼类第五对鳃弓上着生的牙齿。第五对鳃弓的角鳃骨特别扩大，着生粗大的咽齿，与基枕骨的角质垫组成咀嚼面。咽齿的形态、排列和数目是鲤科鱼类分类的主要依据。咽齿的形态与食性有密切关系。如草鱼以食草为主，齿冠具栉状突，用以切割水草；青鱼以螺类为食，齿冠呈臼齿状，用以轧破螺壳。咽齿的排列和数目，以齿式表示：如鲤鱼为 $1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot /3 \cdot 1 \cdot 1$ 。即左右各 3 列齿，外列 1 个，中列 1 个，内列 3 个。草鱼齿式为 $2 \cdot 5 / 4 \cdot 2$ 。青鱼齿式为 $4/5$ 。鳙鱼和白鲢均为 $4/4$ 。咽齿一般均为多出齿。每一咽齿均有补充齿，旧齿受损，有补充齿替换。鲤科鱼类具有咽齿，但无颌齿。

【肝胰脏】鲤科鱼类的肝脏。形态没有规则。呈弥散状分布在肠系膜上，而且肝脏组织中混杂着胰脏组织，因此合称肝胰脏。肝胰脏的组织结构在组织切片上观察，外形无法区别。肝胰脏的分泌物各自分别进入消化道。肝脏分泌的胆汁由肝管通入胆囊贮存。胆囊的胆管将胆汁排放于小肠。胰脏分泌的胰液由胰管送入小肠。

【单循环】又称体循环。从心脏流出的血液均为少氧血，全部注入鳃部，转为多氧血，然后分流到身体各组织中，静脉收集各组织

的少氧血回心脏，这种周而复始的血液循环为单循环。圆口类、鱼类和两栖类的蝌蚪均是单循环。现以鱼类单循环结构为例，说明其特点：心脏由静脉窦、单一的心房和心室、以及动脉圆锥（硬骨鱼为动脉球）组成；离心血液（少氧血）全部分布到鳃；出鳃后血流缓慢，体温接近水温。与单循环相对的是双循环——具有体循环和肺循环。简言之，单循环无肺循环。

【鳃动脉】鳃区分布的动脉血管。以鱼类鳃动脉结构状况说明。心脏前方的腹大动脉发出入鳃动脉（软骨鱼 5 对、硬骨鱼 4 对）进入鳃间隔，入鳃动脉的分支进入鳃片，再分支为毛细血管分布于鳃小片上，在此将少氧血交换为多氧血，流经出鳃动脉（软骨鱼和硬骨鱼均为 4 对），由左右出鳃动脉在后方汇合为背大动脉，供躯干和内脏血液；在前方汇合后供头部血液。

【内耳】脊椎动物的听觉和平衡器官。鱼类只有内耳，主要作为平衡器官。两栖类增加中耳，爬行类和鸟类又出现外耳孔，哺乳类则增加了外耳壳。外耳壳是收集传送声音的器官，是逐步完善的。内耳也是逐步发展的。盲鳗仅一个半规管。七鳃鳗有前、后两个半规管。软骨鱼类具有前、后和水平三个半规管，并具椭圆囊和球状囊，在半规管的腹壶以及椭圆囊和球状囊的听斑均具有特殊的感觉细胞，并与听神经末梢连接。当半规管、椭圆囊和球状囊中内淋巴液流动时，刺激感觉细胞，通过神经传导产生平衡感觉。内淋巴液流动是身体位置改变引起的。两栖类出现瓶状囊，爬行类瓶状囊开阔，鸟类瓶状囊延长，有柯蒂氏器出现，哺乳类瓶状囊延伸卷曲为耳蜗管，其内的柯蒂氏器进一步发展，形成高度灵敏的听平衡器官。

【耳石】鱼类内耳的内淋巴液中悬浮的钙盐结晶体。其作用与听觉有关，又称听石。石首鱼科（Sciaenidae）的耳石大而且多，得名石首。如大黄鱼、小黄鱼左右内耳的球状囊彼此相连，内藏有很大的耳石，称矢耳石，其内侧面光滑，有蝌蚪状印迹；其他内淋巴囊中的耳石较小，如瓶状囊中的星耳石、椭圆囊中的微耳石等等。其他鱼类内耳中也藏有耳石，如鲈鱼的矢耳石最大，鳕鱼矢耳石较大、海龙球状囊和瓶状囊极小，故耳石一般不发达。软骨鱼类，球状囊发达，耳石亦发达。耳石随鱼体增长而增大，并出现同心圆排列的环纹，类似鱼鳞的年轮。在石首鱼科的种类，可根据耳石环纹推算鱼龄。

【嗅叶】低等脊椎动物接受嗅神经传入冲动的中枢，是嗅脑的组成部分。嗅脑在低等脊椎动物很发达，和大脑半球占有同样的比例；在高等脊椎动物，则随着大脑半球体积的增大，比例相对减小，退居大脑前方腹侧次要地位。板鳃鱼类、少数真骨鱼类（如鲤科、鲇科、鳊科等）及软骨硬鳞鱼类，嗅叶分化为嗅球和嗅束两部分，嗅球紧位于嗅囊的后方，由于真正的嗅神经很短，来自嗅粘膜的轴突进入嗅球，不形成致密的束，而是在嗅球与来自大脑较长的轴突发生联系（突触），这些长的轴突集中形成细长致密的嗅束与大脑相连。要注意不能把嗅束误认为嗅神经。鲑科和鲈形目的一些鱼类则是另一类型，嗅叶未分化，紧位于大脑前方，无嗅球。嗅神经很长，来自嗅上皮的神经纤维很长，且集成束，向后延伸与嗅叶神经细胞的树突发生联系。

【洄游】鱼类一生中，每隔一定时期，进行周期性、定向性的集群

游动现象。鱼类的洄游习性，是在长期的适应环境中获得的，它能使鱼类在不同生活时期，得到不同生活条件，以满足种族的生存和繁衍的需要。按洄游的目标可分为三类：（1）生殖洄游。集群游向产卵场进行生殖。其中由海洋游向近海或海湾产卵的如大、小黄鱼；在淡水中集群洄游至产卵场的如草、青、鲢和鳙等；由海洋游至江河产卵的如鲥、鲚、大麻哈鱼等；由江河游至海洋产卵的如鳗鲡。（2）索饵洄游。集群游向育肥场进行索饵育肥，一般产卵后（或越冬后）即进行索饵洄游。（3）越冬洄游。集群游向越冬场进行越冬。

【蝌蚪】无尾两栖类的幼体。早期的蝌蚪用吸盘附着于水草上，以后发育出长尾作为运动器官，营自由游泳生活，以三对外鳃进行呼吸，当外鳃消失后，由鳃盖褶将内鳃的鳃裂包起来，以鳃孔通体外，单循环，具侧线，这些结构类似鱼类。蝌蚪以矽藻、绿藻为食、消化管呈螺旋状、长度相当体长的九倍。口部具唇齿，数目和排列随种类而异。蝌蚪发育一定程度即进行变态，各器官由适于水生向适于陆栖转化。尾逐步消失，出现四肢（先出后肢），肺呼吸代替鳃呼吸，双循环代替单循环，侧线消失，消化管缩短相当体长二倍，动物食性代替植物食性，由水陆两栖代替水栖。从蝌蚪的变态过程中，大体上可见脊椎动物系统发育的缩影。

【声囊】大多数雄性无尾两栖类咽部突出的薄膜囊。对声音有共鸣作用，为第二性征之一。声囊是无尾类分类的重要特征（见下页图）。声囊在口角处的开口，为声囊孔。观察声囊孔的有无，则知声囊存在与否。声囊存在于两口角外侧，皮肤呈皱褶状，鸣叫时薄膜囊突出的，称外声囊。外声囊单个，位于咽下者，如雨蛙类、

姬蛙、狭口蛙、尖舌浮蛙等。外声囊成对，位于咽下的有虎纹蛙、沼蛙、弹琴蛙等。外声囊位于咽两侧的有黑斑蛙。声囊伸于肌肉和皮肤之间，称内声囊。位于咽下具单个内声囊者，如花背蟾蜍、棘腹蛙等。位于咽侧有成对内声囊者，如金线蛙、中国林蛙、峨眉树蛙等。无声囊的也能发音，但声音细弱，如中华大蟾蜍。繁殖期，雄蛙的鸣声，能吸引雌性共同移向繁殖场所，故为第二性征之一。

声囊 (a. 林蛙 b. 湖蛙)

【犁骨齿】两栖类口腔腭部的犁骨上着生的小齿。许多小齿排列呈一定的形状，为两栖类分类的依据之一，如黑斑蛙 (*Rana nigromaculata*) 犁骨齿呈两小团，左右不相遇。小鲵属 (*Hynobius*) 犁骨齿列呈“V”形，显著向后延伸，遮盖副蝶骨前端。蝾螈亚目 (*Salamandroidea*) 犁骨齿着生于犁骨内侧缘，排列

呈“ $\wedge$ ”形，自两内鼻孔之间向后延伸。

【耳后腺】位于无尾两栖类动物的眼后、枕部两侧的皮肤腺。聚集成一定形态，具有种的差异，如蟾蜍属 (*Bufo*) 具有明显的耳后腺。花背蟾蜍 (*B. raddei*) 耳后腺大而扁。西藏蟾蜍 (*B. tibetanus*) 耳后腺短而宽，呈豆状。中华大蟾蜍 (*B. b. gargarizans*) 耳后腺长圆形。黑眶蟾蜍 (*B. melanostictus*) 耳后腺大，长椭圆形。耳后腺和皮肤腺挤取的白色浆液，经加工、干燥后成为中药——蟾酥。蟾酥含有 30 种以上的甾体化合物，生理活性物质主要是蟾毒及其水解产物蟾毒配基。蟾酥具有解毒、消肿及止痛的功效。

【唇齿】无尾两栖类蝌蚪口部结构之一。蝌蚪口部结构在很大程度上，反映了该属的特征。一般蝌蚪口部中央有上下角质颌，颌中央为口，颌缘呈锯状突起。口部周围有宽的薄唇，即上唇和下唇，上下唇在口角处连接。唇外侧缘有唇乳突，口角处为副突。上、下唇有横行突起，称齿棱，其上着生有细小角质唇齿。唇齿的分排，由唇外侧缘数起，最外侧为第一排，第一排唇齿排是完整的，用 I 表示；第二排左右中断成一行，用 (1—1) 表示，如左侧无唇齿排，用 (0—1) 表示，如两排均为完整的用 II 表示，并以“/”斜线表示上下唇的界限。这样列出唇齿式，以表示唇齿排的结构。如黑斑蛙蝌蚪齿式为 I : 1—1 / II : 1—1。东方铃蟾蝌蚪的唇齿式为 II / II : 1—1。大蹼铃蟾蝌蚪唇齿式为 II / III (见图)。

唇齿 (a. 黑斑蛙 b. 大蹼铃蟾)

【卵胶膜】两栖类的卵经历输卵管时，被管壁中腺细胞分泌的胶体物质所包裹，形成由胶膜包围的胶囊。卵胶膜对于卵有保护作用，保护卵维持正常渗透压，防止病菌侵入，维持一定温度，且日照后，具有胶膜则散热较慢。总之造成使卵有利于孵化的环境条件。最新研究成果表明，卵胶膜内的胶质有调节钙离子浓度的作用，使卵达到最佳受精状态。不同种类的卵，由卵胶膜包裹的胶囊，可连成带状（如蟾蜍），或形成块状（如雨蛙科、蛙科、姬蛙科等），有的成单粒状（如铃蟾属），有的成念珠状（如大鲵）等。

【鼓膜】盖于鼓室外，具有弹性的薄膜。能接受陆上的声波振动，通过听骨传到内耳。许多无尾两栖类鼓膜明显，是位于眼后的圆形光滑部分。鼓膜内侧为中耳腔（鼓室），其中耳柱骨一端贴鼓膜，一端连内耳，将声波传至卵圆窗。爬行类和鸟类的鼓膜下陷，出现外耳道。哺乳类除有外耳道外，还有外耳壳，使之能更有效的收集声音。中耳腔内由镫骨（连着瓶状囊）、砧骨和槌骨（连着鼓膜）构成传导系统，提高听觉的灵敏度。

【尾杆骨】无尾两栖类，脊柱后端紧连的一条不分节的杆状骨骼。

其长度几乎与脊柱相等。尾杆骨前端有两凹面，嵌合荐椎的两枚尾杆骨髁。尾杆骨背面中央，有一纵行的垂直嵴，脊椎管终止于嵴的前段。尾杆骨背面前端有一对尾骨孔，为第十对脊神经的出口，相当于脊柱的椎间孔。尾杆骨的近端，常有一对或二对横突，说明尾杆骨是由若干尾椎愈合形成的。

【脂肪体】无尾两栖类雌雄生殖腺前方的鲜黄色指状物。脂肪体内含有大量脂肪，为积贮养料的器官。繁殖季节脂肪体缩小，深秋蛰眠时期脂肪体最大，如切除脂肪体，雌、雄生殖腺均不能正常发育，由此可证实脂肪体是为生殖腺和副性器官发育提供养料。脂肪体和生殖腺在发生上，都是来源于胚胎时期的生殖嵴。生殖嵴前部分化为脂肪体，后部分化为卵巢或睾丸。

【羊膜卵】爬行类、鸟类及单孔类所产的卵。卵壳由坚硬的石灰质或不透水的韧性纤维膜构成，既有良好的通气性，又有防机械和化学损伤的能力。羊膜卵发育（孵化）中，出现一系列胚膜。由羊膜构成羊膜腔，内有羊水。胚体置于腔中央，并悬浮在羊水中。羊膜具有轻微的收缩能力，使羊水动荡、防胚体粘连，以利自由生长发育。由后肠伸出尿囊，逐步扩大，位于绒毛膜内侧。尿囊膜具有丰富微细血管，能进行气体交换，亦能将尿酸排放其中。卵黄囊由中肠底部包围卵黄形成的，提供胚胎所需营养。绒毛膜是由胚外体腔的外层膜扩大形成，紧贴卵壳。当胚体发育完成后，胚膜将全被放弃。羊膜卵的出现，摆脱了水域的束缚，使动物能进行真正的陆地繁殖，为动物向高等方向演化奠定了基础。胚体在羊水中发育，大致可证实个体发育重演系统发育的理论。

【毒牙】毒蛇口腔中与毒腺相连的牙齿。毒牙比普通齿粗而长。毒腺位于眼的后下方，分泌的毒液通过导管，注入毒牙内，当毒牙咬住猎物时，毒腺表面的肌肉收缩，将毒液压入猎物体内。平时，毒牙套在毒牙鞘内，不易发现；张口时，毒牙出鞘，出现于口腔中。毒牙的形态有二种：一种是沟状毒牙，牙冠表面有沟槽，毒液沿沟槽流出。着生于上颌骨前部的，称前沟牙，如眼镜蛇科和海蛇科种类的毒牙。着生于上颌骨后部的，称后沟牙，如水游蛇亚科和林蛇亚科种类的毒牙。一种是管状毒牙，齿冠中空呈管状，毒液沿管腔流出，着生于上颌骨的前部，如蝰亚科和蝮亚科种类的毒牙。

【蛇毒】由毒蛇的毒腺分泌的毒液。鲜毒液为类似蛋清样的粘稠液体。毒腺由毒蛇的口腔腺特化形成，一般位于眼的后下方，腺体表面有肌肉包裹。毒腺的形状和大小，随毒蛇的种类和营养状况有所不同。代谢水平高时，蛇毒量增多。取毒时期最好在6—9月。蛇毒呈弱酸性或中性反应，主要由蛋白质和多肽类物质组成。有毒成分有二种：神经毒可使中毒者中枢神经麻痹，最后死亡。如金环蛇、银环蛇和海蛇的蛇毒。血循毒可使中毒者皮下出血，组织坏死，内脏出血，最后心脏衰竭致死。如蝰蛇、五步蛇的蛇毒。眼镜蛇和蝮蛇的蛇毒上述两种有毒成分都具备。蛇毒既可致人于死地，也可造福人类。蛇毒中的酶类、毒性蛋白和某些活性物质，用途极其广泛，能提供多种蛇毒制品，作为新的医药原料，如抗凝血药物，以及在研究分子生物学或基因工程中作工具酶用的有关酶类等。

【龟壳】龟类整个甲壳的统称。龟的甲壳由拱起的背甲和扁平的腹

甲构成。联接背、腹甲的部分称甲桥。整个龟壳呈盒状，一般龟的头颈、四肢和尾部在其中能自由伸缩，起到较好的保护作用。背、腹甲均由两层构成。内层由骨板构成，来源于真皮；外层由角质盾片构成，来源于表皮。盾片和骨板的数目和排列方式，是龟类分类的依据之一。

【鳃】鱼类的主要呼吸器官。位于咽侧鳃裂之间。由鳃弧、鳃肌、鳃片（鳃丝）、鳃小片、鳃间隔、鳃盖、鳃血管系统和鳃神经组成。水流经口、口腔和咽部，从鳃裂排出体外。流水经过鳃小片时，即进行气体交换。它由单层呼吸上皮和丰富的微血管系统构成。软骨鱼类的鳃间隔特别发达，鳃片附于其上构成板鳃，鳃裂直接开口于体表，无鳃腔和鳃盖。硬骨鱼类鳃间隔退化，鳃丝游离，直接附在鳃弧上，鳃裂开口于鳃腔内，具有鳃盖保护，鳃裂间接开口于体表。有些鱼类，尚有外鳃。软骨鱼幼体外鳃从鳃裂或喷水孔伸出，呈细丝状，很长，可呼吸，亦可吸收养料。非洲肺鱼幼体和多鳍鱼的外鳃从体表延伸，进行呼吸作用。

【鳃盖】覆盖鱼类鳃腔外面的结构。鳃裂共同向外开口的腔为鳃腔。软骨鱼类的板鳃亚纲无鳃腔，鳃裂各自直接通向体表，故无鳃盖。全头亚纲的种类，四对鳃裂外面盖有皮膜状的鳃盖，由鳃孔通向体外。硬骨鱼类均具有由鳃盖骨及其后缘的鳃盖膜组成的鳃盖。鳃盖骨由成对的主鳃盖骨、前鳃盖骨、间鳃盖骨、下鳃盖骨和 6 对鳃条骨组成。鳃盖膜附着在骨质鳃盖的游离缘。口腔瓣膜和鳃盖膜有防水倒流的作用。口腔和鳃盖节律性交替启闭，形成水由口腔、咽部、鳃裂至鳃腔，由鳃盖的游离缘排出。

【外鳃】伸出鳃裂或鳃盖外的鳃。有些鱼类胚胎时期或幼鱼阶段存在外鳃。按外鳃来源分为内胚层性外鳃和外胚层性外鳃。前者如板鳃类的胚胎，从鳃裂或喷水孔伸出丝状的外鳃，由鳃动脉的小分支供血。石纹电鳐 (*Torpedo marmorata*) 的丝状外鳃几乎与体长相等。后者为在鳃盖或鳃裂前方伸出的簇状或树枝状鳃，由皮肤形成，鳃动脉供血。其中非洲肺鱼和美洲肺鱼发育早期具 3—4 对羽状外鳃，当鳃盖形成时外鳃退缩，美洲肺鱼退缩较快，非洲肺鱼保留略长些；多鳍鱼幼鱼的外鳃呈柳叶状。两栖类蝌蚪（或幼体）的外鳃由鳃动脉供血，当鳃盖长成后即消失。有的有尾类成体亦具有三对外鳃，如鳗螈 (*Siren lacertina*)。

【鳃裂】脊索动物咽部侧壁上的裂口。原索动物的鳃裂很多，如文昌鱼达百余对。鳃裂开口于围咽腔内，即间接通达体表。脊椎动物的鳃裂数减少。其中圆口类具特殊鳃囊，以鳃孔通向体表，七鳃鳗 7 对鳃孔，盲鳗 6—15 对鳃孔。板鳃亚纲多数为 5 对鳃裂，六鳃鲨目 (*Hexanchiformes*) 具 6—7 对鳃裂。全头亚纲具 4 对鳃裂。辐鳍亚纲一般为 5 对鳃裂（多鳍鱼为 4 对鳃裂）。鳃裂一侧具鳃为 1 个半鳃，若两侧均具鳃为 1 个全鳃，如鲨鱼具 4 个全鳃，1 个半鳃。

【鳃弓】鱼类鳃间隔基部的骨骼结构。由咽鳃骨、上鳃骨、角鳃骨、下鳃骨和基鳃骨等分节骨棍组成。基鳃骨位于腹中线，为单个，其他均成对，并由背向腹排呈弧形，故亦称鳃弧。由鳃弓伸出若干鳃条，以支持附在鳃间隔两侧鳃片的鳃丝。鳃弓上附有鳃肌，可使分节的鳃弓微微活动，有利于鳃呼吸。鳃弓支持着入鳃动脉和出鳃动脉，入鳃动脉一条，出鳃动脉硬骨鱼类一条，软骨鱼类两条。鳃

弓及其上的神经、肌肉和血管均由包裹在外的口腔上皮所保护。鳃弓内侧常具有各种形式的鳃耙。鳃弓是鱼类头骨的组成部分。软骨鱼类鳃弓为软骨，硬骨鱼类鳃弓为硬骨。

【鳃耙】鳃弓内侧面的突出物。既可滤食又有保护鳃片的作用。多数鱼类鳃耙上分布有味蕾，具有味觉作用。软骨鱼类鳃耙一般不发达，食浮游生物者如姥鲨（*Cetorhinus maximus*）、鲸鲨（*Rhincodon typus*）和日本蝠鲼（*Mobula japonica*）等的鳃耙结构复杂。硬骨鱼类有无鳃耙或发达程度因种群而异。无鳃耙的如鳗鲡科、海鳗科、颌针鱼科、鲛鰩科等；仅有鳃耙痕迹的如鳅科、鲇科、六线鱼科、鰕虎鱼科、鲾科等；鳃耙发达的如鲱科、鲭科、银汉鱼科等。以浮游生物为食的鲢、鳙的鳃耙十分复杂。鳙的鳃耙呈丝状，几乎与鳃丝等长，两排鳃耙之间构成鳃耙沟，腭部的腭褶嵌合在沟内，以提高滤食效果。鲢的鳃耙亦呈丝状，但比鳃丝更长，而且鳃耙之间彼此相连构成筛板，整个鳃耙呈海绵状，这是另一种高效滤食的形式。

【鳃呼吸】鱼类主要的呼吸方式。进行呼吸的部位主要在鳃片（硬骨鱼为鳃丝）支持的鳃小片上，鳃小片由单层上皮细胞、支持细胞和毛细血管组成。水流通过鳃小片时，毛细血管中红血细胞携带的 CO_2 能充分同水中的 O_2 进行交换。鳃上的血液循环是鳃呼吸的保障。入鳃动脉将含 CO_2 多的血液输入鳃间隔，在鳃间隔上分两支进入每个半鳃，每支发出若干细支进入鳃片，每细支的鳃小片上形成毛细血管网。气体交换后携带着多 O_2 血，由逐步汇合成的出鳃动脉血管输出鳃，再运送至各组织器官。鳃的运动是鳃呼吸的必需条件，它使水沿着一定途径流动，鳃隔（软骨鱼）和

鳃盖（硬骨鱼）的启开，犹如泵的作用，将水从口腔中抽出。口瓣膜关闭，防水倒流，使水始终保持从口进入经鳃裂流出的流动方向。

【卵齿】卵生羊膜动物（如鸟类）在出卵壳前，上喙先端形成硬化的角质物。由于雏鸟在胚胎发育中吸收了大量的钙质，使卵壳薄而脆弱。雏鸟较易用卵齿在气室附近啄破卵壳，然后用喙逐渐扩大裂缝，用身体向上顶卵壳的钝端，使卵壳破裂而出壳。一般雏鸟出壳后数小时卵齿即脱落，只有鸮等一些鸟类保留一周以上。

【喙】一般指鸟类的嘴。由表皮形成的角质鞘套在上颌和下颌的外面，由角蛋白高度钙化而显得特别坚硬。喙是鸟类取食、筑巢、御敌、梳理羽毛等活动的重要器官。由于鸟类的食性及生活方式不同，喙的形态也多种多样。鸭类常在浅水处滤食水草和鱼虾等小型动物，喙长宽而背腹扁，喙缘具有锯齿状缺刻；鹭类生活于水边，涉水啄食小鱼，喙成尖长形；猛禽鹰、鸮等，捕杀小动物，并撕裂动物皮肉而吞食，它们的喙强大、粗壮，上喙比下喙长，上喙向下弯曲呈钩状；啄食植物上小虫的莺类的喙长而尖细；空中飞行捕食的雨燕、夜鹰、鹞等的喙呈背腹扁、基部宽的阔三角形，使嘴能张得很大；啄木鸟啄食树皮下面的昆虫，长着一副凿状的喙。

【瞬膜】又称第三眼睑。少数鱼类、无尾两栖类、爬行类及鸟类具有，人和哺乳动物退化，仅存痕迹。鸟类的瞬膜发达，是一半透明薄膜。起自眼内角，它受两块平滑肌，即瞬方肌和瞬膜锥肌的控制。这两块瞬膜肌受外展神经分枝的支配。瞬膜活动时，能将

眼球前方完全遮住，使结膜和眼睑保持清洁。在飞翔时瞬膜遮掩和保护着眼球。

【翼】鸟类的飞翔器官。翼的骨骼变化主要在手部骨骼的愈合和消失。腕骨只剩下 2 块，即尺腕骨和桡腕骨，其余的腕骨与掌骨愈合为腕掌骨。掌骨只剩下 3 枚，第一枚很小，愈合在第 2 掌骨的基部。其前方有第一指骨；第二与第三掌骨的近端和远端互相愈合，并各带有退化的指骨。第二指骨具 2 节，基部与第二掌骨相关节；第三指仅为 1 节，与第三掌骨相关节。各指端都无爪。由于手骨的愈合简化，以及前肢骨之间的关节只允许各骨沿一个平面屈伸。使搨翅时前肢成为一个整体而运动。在鸟类的手部（腕、掌骨及指骨）着生的一列大型飞羽称初级飞羽；下臂（尺骨）处着生一系列次级飞羽。飞羽是鸟类飞翔的主要羽毛。它们的形状和数目，各羽的长短等均因种类而异，形成不同的翼形，是鸟类分类的重要依据。

【羽毛】鸟类特有的皮肤衍生物。羽毛分为正羽、绒羽和毛羽 3 种主要类型。羽毛可使鸟避免机械损伤；保持体温；使身体成流线形的轮廓；生长在翅和尾部的大型羽毛，使飞翔能够实现。生长在眼、嘴周的刚毛状羽有触觉作用，鼻孔上覆盖的刚毛状羽起过滤空气的作用；苍鹭等涉禽具有可脱落的蜡粉状羽，保护体羽不沾泥水或污物；有的形成冠状、丝状等饰羽。许多鸟类的羽毛颜色艳丽，主要由于色素细胞在羽片角化之前，进入到表皮层的细胞之间，受化学的、物理的或光化学的影响，而显示出各种绚丽

闪光的羽色。

【翎】鸟类正羽。一般指翅和尾部长而硬的羽毛。从汉武帝时起就有“鷩冠制”（鷩即褐马鸡），让武士将褐马鸡的尾羽插在头盔上，用以激发将士的斗志。这种制度一直沿用到清代才改用“蓝翎”和“花翎”。品级较低者帽子上饰以“蓝翎”，即纯鷩羽；“花翎”外部为鷩羽，内部为孔雀翎。后来艺人们在舞台上表现武将的英姿，又换成了白冠长尾雉的尾羽，称“雉鸡翎”。不少鸟类的翎颜色艳丽或形态优美，成为饰羽。如绿头鸭中央两对纯黑色尾羽称“蝎子勾”；针尾鸭中央一对尾羽称“鸭枪”；毛腿沙鸡的中央尾羽称“沙鸡尾”；大鸨的三级飞羽称“阴阳花片”、次级飞羽称“大鷖千”；金鷖的飞羽称“洁白鷖翎”，都是鲜明的饰羽。

【正羽】覆盖鸟类身体表面的大型羽毛。由一根长的羽轴和生长其两侧宽而薄的羽片构成（见图）。羽片又称翎，靠内侧的，往往被另一羽片所盖的称内翎，外侧的为外翎。羽轴向两侧平行斜伸许多羽枝，每一羽枝又向其两侧伸出许多羽小枝。每一远侧行的羽小枝的下面具有羽小钩，钩住近侧行羽小枝，这样就钩结成完整的羽片。当机械撕裂羽片时，鸟可抖动羽毛，用喙梳理完好，羽轴下段不具羽枝的部分称羽根。羽根深插入皮肤中。飞羽附着在前肢骨骼上，尾羽附着在尾综骨上。羽根的下端有一个开口，称下脐；羽根与羽轴连接处的腹面也有一个小的开口，称上脐，是正羽发生的遗迹。正羽构成鸟类的体覆羽、飞羽和尾羽。

正羽形态和结构示意图

(a. 正羽外形 b. 正羽部分放大)

1. 羽轴 2. 羽片 3. 下脐 4. 上脐
5. 羽枝 6. 羽小枝 7. 羽小钩

【绒羽】又称**翮**。结构简单。基部有短的羽根埋于皮肤内。羽根的顶端发出许多细长而软的羽枝，羽枝两侧生有许多羽小枝。羽小枝的羽小钩不发达，所以不形成羽片，而成一簇绒毛。绒羽密集于正羽之下，形成松软的隔热层。秋冬绒羽多，一些游禽尤为发达。早成雏鸟出壳后全身长满雏绒羽，有些晚成雏也生有少量的雏绒羽。雏绒羽在雏鸟出壳后 10 天左右即随正羽的长出而脱落。

【毛羽】又称**纤羽**。外形似毛的简单羽毛。具有一个细长的羽轴，游离端有少数几根毛状羽枝，羽小枝不发达。毛羽分布在全身体表。当拔去全身的正羽和绒羽后，即可见到生长在皮肤上的许多毛羽。毛羽实际是退化的正羽。

【飞羽】生长在鸟翼上的大型而坚实的、用于飞翔的羽毛。附着在手部的飞羽称初级飞羽，一般具有 9—12 枚，每种鸟的数目比较恒定；附着在尺骨上的称次级飞羽，短于初级飞羽，数目变化较

大；位于次级飞羽内侧，附着在尺骨近端的称三级飞羽或内侧次级飞羽，与外侧的次级飞羽有别。一些大型、长翅的鸟类，如信天翁、军舰鸟等附着在肱骨上的亦称三级飞羽。在第一指骨上附着的几枚小而硬的羽毛，称小翼羽，对飞翔时转变方向有重要作用。

【尾羽】附着在鸟类尾综骨两侧、呈扇形排列的正羽。一般情况下，每种鸟的尾羽数目恒定。多数鸟类的尾羽 12 枚；少数为 10 枚；有的 8 枚。尾羽在飞翔时起于衡身体和转换方向的作用。居中的一对对称中央尾羽，最外侧的称最外侧尾羽。由于尾羽长短不一，而形成各种尾形。鹭类的中央尾羽与外侧尾羽长度相等，称平尾；中央尾羽比外侧尾羽略长一点的称圆尾，如八哥；中央尾羽长于外侧尾羽较多的称凸尾；如伯劳；二者相差更大的称楔尾，如啄木鸟；中央尾羽甚长的称尖尾，如蜂虎。中央尾羽比外侧尾羽略短的称凹尾，如沙燕；相差较显著的称叉尾，如黑卷尾；二者相差极显著的称铗尾，如燕鸥。

【羽区】鸟类羽毛在体表着生的一定区域。不生羽毛的地方称裸区。羽毛的这种着生方式，有利于剧烈的飞翔运动。鸵鸟、企鹅等不会飞翔的鸟类，羽毛在体表连续生长，无羽区、裸区之分。大多数鸟类的羽毛仅在羽区内生长。裸区一般都被邻近羽区的廓羽所覆盖。由嘴基到头顶及连接着背区的部位为头部羽区；接下去直到尾上覆羽为背部羽区。肩部羽区比较窄。股部羽区也较窄，从股部沿着胁部伸向尾部。由翅的飞羽和覆羽组成翼羽区。尾羽、尾覆羽、肛周羽和尾脂腺上羽毛构成尾羽区。分叉分布的体下羽毛构成腹部羽区。

【换羽】鸟类定期更换羽毛的现象。一般鸟类一年换羽两次。繁殖期后，羽毛损失较大，所换的羽为冬羽。到早春，大多数鸟类将进入繁殖期，所换的羽为夏羽或婚羽。飞羽和尾羽一般是分批逐渐更换的，故在换羽过程中不致影响飞翔；但雁鸭类却一次脱落，此时失去飞翔能力，常在非常隐蔽的沼泽、草丛中躲藏，避免被其他动物和人类的捕杀。有的鸟除正常换羽外，还有一次婚前换羽，如鹭类的蓑羽。雌性雷鸟 1 年换羽 3 次，雄鸟换羽 4 次，形成特殊的夏羽（褐色）和冬羽（白色），成为有效的保护色。

【孵卵斑】鸟类进入繁殖期后，在孵卵前的短期内，一些腹部羽毛脱掉，露出的皮肤。亲鸟用裸露的皮肤接触卵，给卵以一定的温度，使卵孵化。雉鸡、伯劳、鸮等雌鸟孵卵；鸽、黑卷尾、鹤等雌雄鸟轮流孵卵；三趾鹑、彩鹬等雄鸟孵卵。除企鹅、鸭、鹅、鸬鹚等少数种类外，参与孵卵的亲鸟腹部都具有孵卵斑。雀形目、隼形目、鸱形目、鸽、鸬鹚等具有单个孵卵斑；鴈形目等具有两个侧位的孵卵斑；鸡和鸥具有一个中央和两个侧位的孵卵斑。孵卵斑的大小一般与窝卵数多少无关。

【尾脂腺】鸟类唯一的皮肤腺，位于尾综骨背侧，呈豆形。尾脂腺分泌物的主要成分为脂肪、卵磷脂和高级醇，但缺少胆固醇。当鸟类梳理羽毛时，用喙压迫尾脂腺，挤出分泌物，涂在羽毛上，可润泽羽毛和保护羽毛，并使羽毛遇水不湿。雁鸭类等游禽的尾脂腺特别发达。有的种类，如鸬鹚、鹤鸵、鸨和鹦鹉等不具尾脂腺。

【喉囊】鸬形目鸟类在嘴下部发育程度不同的皮肤囊。鸬鹚有巨大

的喉囊，好象一个大网兜，用来兜捕并暂时贮存食物。军舰鸟的喉部裸露无羽，雄鸟平时喉部橙黄色，繁殖期膨大成鲜红色的喉囊，象个鼓起的气球。鲣鸟的喉囊很小，但色彩美丽。喉囊不仅是贮存食物的器官，而且是繁殖期雄鸟求偶时向雌鸟炫耀的器官。

【距】一种角质突起。在鸟类中，一般指雉鸡类跗蹠部后缘的角质突起。有的鸟类在角质突起的内部有从跗蹠骨生出的骨质芯。大多数每只脚只有一个距；孔雀雉通常有两个，也有1个或3个距的。一般雄性有距，有的雌性有距，但不如雄性的发达。雉鸡、虹雉、锦鸡、角雉和马鸡等具短距；原鸡有长而曲的锐距；鹇有尖锐的长距；勺鸡具有长度适中的钝形距。距是鸟类在繁殖期，雄性争雌时相互格斗的利器，也是御敌的“武器”。

【半对趾足】又称转趾足。3趾向前、1趾向后的鸟类足，其中第四趾（外趾）可以转向后方，这样第一、四趾向后，二、三趾向前，有利于抓捕猎物。这对鸢捕捉鼠类、鸢捕捉鱼非常得力。

【对趾足】第二、三趾向前，第一、四趾向后的鸟足，如啄木鸟，有利于双足抓住树干，在尾的协助下，形成3个支点，以使用凿子一样的喙取食树皮下的蛀虫。

【二趾足】非洲鸵鸟的足。脚非常强大，足仅有2趾，相当于第三、四趾，第三趾强大而具爪，第四趾较小而无爪。趾的下面有肉垫，适于在沙漠或草地上行走、奔跑。

【异趾足】咬鹃的脚第二趾反转向后，形成第一、二趾向后，第三、四趾向前的特殊异趾足（见图）。有利于攀缘。

异趾足

【前趾足】4个趾全向前生长的鸟足（见下页图），如雨燕，利于扒住岩石或洞口。

【蹼】两栖动物、爬行动物、鸟类和哺乳动物脚趾之间的皮肤膜。游水时，带蹼的足拨水可加大对水的推力，增加游速。在鸟类有蹼足、凹蹼足、半蹼足、全蹼足和瓣蹼足等不同类型。

【蹼足】雁鸭类的前3趾间有极发达的蹼，两趾间的蹼膜从趾端相连几呈直线，因此也称满蹼，是适应于游泳生活的结构。

前趾足

【凹蹼足】与蹼足相似，但蹼膜中部往往凹入，如浮鸥的趾间就具凹蹼。

【瓣蹼足】鸕鹚和骨顶鸡等趾的两侧所具有的瓣状蹼膜（见图）。游泳时各蹼相靠，有利于游泳。

瓣蹼足

【半蹼足】又称微蹼足。鹬、鹭等涉禽的趾较长，前 3 趾的基部间具有较小的蹼膜或仅中趾与外趾间的基部具有蹼膜。

【龙骨突】鸟类的胸骨特别发达，向后一直伸到腹后方的骨盆处。沿胸骨的腹中线向腹面有薄而隆起的骨片，恰似船底的龙骨，故名。龙骨突发达，就为飞翔肌（如胸大肌、胸小肌）提供良好的附着面。善飞的鸟类都具发达的龙骨突，在分类上归入突胸总目。失去飞翔能力的，如鸵鸟等走禽，胸骨扁平，缺少龙骨突起，在分类上归入平胸总目。

【尾综骨】由鸟类尾椎最后端的几个椎骨愈合形成，左右侧扁，着生尾羽的骨块（见图）。始祖鸟的尾椎共有 18—20 枚，均为分离的椎骨，未愈合。反映出由爬行动物到鸟类过渡的中间地位。现代鸟类尾椎骨发生愈合，尾椎数目减少。前边少数尾椎与荐椎、腰椎和少数胸椎愈合愈合荐骨，中间几枚尾椎游离，最后一些尾椎愈合在一起，是一块两侧扁平，向上翘起的较大骨块。尾综骨呈三角形或长方形，一般后缘厚而凸出，多条尾肌附着于此。尾综骨的背方两侧支持着发达的尾脂腺，后侧方为尾羽的支架，所以尾综骨对鸟类的飞行有着重要的作用。

鸡的后部骨骼

1. 尾综骨 2. 坐骨 3. 耻骨 4. 股骨

【叉骨】鸟类肩带中特有的骨骼。由左右锁骨及退化的间锁骨在腹

中线处愈合成“V”形。两侧的骨棒细长而稍曲，近端扁宽，接近乌喙骨突处以韧带与肩臼连接。两侧远端斜向内下方延伸，在接近胸骨中线处愈合成扁平的突起（见图）。叉骨坚实而富有弹性，在鸟翼剧烈煽动时可避免左右乌喙骨向中间靠近发生碰撞、挤压气管，并增加肩带弹性。无飞翔能力的鸵鸟等平胸总目鸟类，叉骨退化成为乌喙骨的一部分。

叉骨

【鸣管】鸟类特有的发音器官。一般脊椎动物的发声器官在气管上端的喉头内，绝大多数仅在呼气时发声。鸟类喉头由4块软骨构成，并不能发声，只对声调有一定调节作用。鸣管位于气管与支气管的交界处。此处气管的内、外管壁均变薄，呈膜状，称鸣膜。两支气管交接处的内方有一小块软骨，上端突起一个半月膜。出入肺的气流震动鸣膜半月膜而发声。鸣管外侧的鸣肌可以调节鸣膜的紧张程度，从而使鸟的鸣叫声婉转动听。鸟类吸气和呼气均能发声。鸣禽的鸣肌复杂，鸣叫声悦耳动听。雄鸭的鸣管左侧形成一个特殊的骨质泡，起着共鸣作用，叫声响亮。

【栖肌】爬行动物和低等鸟类腿部的一块肌肉。起自髌臼前缘耻骨、髌骨的会合处，与股骨平行的内侧，以一薄腱斜跨膝关节前方，转向外侧经腓骨头外侧至髌骨远端，与第2、3趾屈肌起点的腱相连，

止于第 2、3 趾的远端腹面。当鸟栖息于树枝时，4 趾拳曲握枝，后肢几个关节因肌肉收缩而成最小的弯曲角度，体重整个压到后肢，栖肌因而收紧，屈肌亦随之拉紧。即使鸟睡熟了，也会因体重下坠，机械地拉紧栖肌，4 趾紧紧地握住树枝，不会跌落下来。当准备起飞时，伸肌收缩，脚趾放松，栖肌松弛，后肢几个长骨形成的杠杆同时向上伸开，使鸟弹跳起来，展开双翅起飞。

【嗉囊】鸟类的食道的颈段，在进入胸腔之前，腹外侧形成的一个囊状膨大的薄壁憩室。嗉囊的外膜与皮肤紧贴，有皮肤或邻近肌肉发出的横纹肌纤维附着，起固定作用。嗉囊是食物暂时贮存的地方，食物混入口腔液、食道粘液加上细菌的作用，又有适宜的温度，有利于食物的发酵和软化。食谷粒的鸟类如鸽、鸡及食鱼鸟类均有较发达的嗉囊；食昆虫和食肉的鸟类嗉囊较小或消失；鸭和鹅没有明显的嗉囊，只是食道中部膨大形成纺锤形的扩大部分，整个食道都能贮存食物。雌鸽在繁殖期间，嗉囊壁能分泌一种富有营养的液体，称为“鸽乳”，用以饲喂雏鸽。鸬鹚、鹈鹕等食鱼鸟类在繁殖期，可在嗉囊内制成食糜，饲喂雏鸟。

【前胃】又称腺胃。鸟类的胃明显地分为两部分，接近食道的为前胃，往后为肌胃，两者之间有个隘腰分开。腺胃呈梭形膨胀，其粘膜层广布分枝腺体，以腺管通到上皮表面，又有简单管状腺体，分泌胃液到胃腔中，胃液中含有盐酸和胃蛋白酶。复管状腺相当于哺乳动物的胃底腺，它兼有分泌盐酸和蛋白酶的功能，所以可称为“壁—主细胞”。而哺乳类胃底腺的壁细胞分泌盐酸，主细胞分泌酶。腺胃容积小，贮存食物有限，它的主要功能是分泌胃液和推移食团与胃液进入肌胃。食物进入腺胃取决于嗉囊和食管胸

段的运动能力和肌胃的充盈程度，如果食物在腺胃前的一段时间里，肌胃的处于空虚状态，食物在腺胃内只停留几秒钟就进入肌胃。但食物可在腺胃和肌胃间来回运动。

【砂囊】又称肌胃、肫和胗。是鸟类前胃之后的一个有很厚肌肉壁的胃。肌胃粘膜上皮有大量管状腺，它的上皮细胞碎屑和分泌物，在粘膜表面形成了一层黄色的类角质膜（中药称“鸡内金”），被覆在粘膜表面，并进行周期性更换。这层角质层能耐粗糙有力的磨擦，加上鸟类吞食的砂砾用来加强碾磨作用，所以称肌胃为砂囊。肌胃的肌层，由一对强大的背侧肌和腹侧肌与一对较薄的中间肌组成。发达的背侧肌和腹侧肌呈半球形分别位于背侧和腹侧，肌纤维环形排列，构成肌胃的绝大部分。在肌胃前后端分别有前背中间肌和后腹中间肌，各与背、腹侧肌相接。四块肌间在肌胃两侧，以发达的腱组织相连接，形成致密的中央腱膜。肌胃的发达程度随鸟类的食性不同而有很大差别。食谷粒的发达，食浆果的鸟类几乎没有肌胃，肉食性的鸟类肌胃不发达。

【腺胃】见“前胃”。

【气囊】见“双重呼吸”。

【双重呼吸】鸟类飞翔时特有的呼吸方式。鸟类的呼吸系统非常特化，具有非常发达的气囊系统与肺气管系统相通连。肺的背面紧贴着胸椎，两侧被肋骨紧束，腹面受由结缔组织与从肋间肌发展出来的肌肉纤维构成的薄膜所挡，后端被阻于斜膈，位于围心腔的两侧。肺体积不大，而且是相当紧实的海绵体，很少弹性。支

气管从气管分枝下来进入肺而为中支气管，然后逐渐分枝为次级支气管、三级、四级支气管而成毛细气管交织成网，彼此沟通。毛细气管之间有毛细血管伴同纠结在一起，气体交换非常便利。气囊是鸟类的辅助呼吸系统，一般有 9 个气囊，其中与中支气管末端相通连的为后气囊（包括腹气囊及后胸气囊），与腹支气管相通连的为前气囊（包括颈气囊、锁间气囊和前胸气囊）；除锁间气囊为单个的以外，均左右对称成对。气囊遍布于内脏器官、胸肌之间，并有分支伸入大的骨腔内。当飞翔时由于胸肌处于紧张状态，肋骨和胸骨固定不动，随着翼的煽动，前后气囊进行收缩和扩张。气囊扩张，空气被吸入肺，其中大量新鲜空气沿中支气管直接进入后气囊，没经过毛细支气管，因而富有氧，暂存后气囊中。同时有一部分气体经次级、三级支气管达毛细支气管，在肺内进行气体交换。呼气时肺内含 CO_2 多的气体经前气囊排出；后气囊中所存的空气经返回支的次级、三级支气管到肺内的毛细支气管进行气体交换。这种在吸气和呼气时肺内均能进行呼吸的现象称双重呼吸。是鸟类适应飞翔生活的一种呼吸方式。

【巢区】 鸟类在繁殖期常各自占有一定的领域，不允许其他鸟类、尤其是同种鸟类侵入，其所占领的地盘，即为巢区。巢区不仅是求偶、交配、筑巢、产卵、孵卵的地区，也是育雏和幼鸟觅食的区域。适于作鸟类巢区的条件是：（1）良好的巢地，如树洞、枝杈、岩隙、草丛等；（2）有足够的食物；（3）附近要有很好的保护条件；（4）适宜的小气候条件。巢区的大小与鸟的种类、生活习性 & 环境条件的优劣有关。捕食动物的隼形目鸟类的巢区可从几平方公里到几十平方公里，而雀形目小型鸟类的巢区只有几百到几千平方米。鸟类占据巢区的行为具有调节种群数量的作用，在

种群密度小的年份，雄鸟都能占据到合适的巢区，繁殖后代的机会就多；反之，在种群密度大的年份，“弱者”就占据不到适宜的巢区，失去繁殖机会，就会有部分鸟类不能完成繁殖。

【鸟巢】绝大多数鸟类均有筑巢行为，只有极少数鸟不会筑巢，如红脚隼自己不筑巢而占用喜鹊的巢，杜鹃则把卵产在大苇莺等多种鸟类的巢内。鸟巢的主要功能有：（1）使卵集中，便于被亲鸟孵化。（2）保持卵和幼雏发育所需的最适温度。（3）保护卵、雏鸟及孵卵的成鸟免遭天敌的伤害。低等种类巢仅在地面扒个土坑，或仅垫入少量草茎或毛；高等种类则用细枝、草茎或毛、羽等分层编织成各式各样精致的巢。鸟巢按形状、大小、位置、材料和结构分为：（1）地面巢，如百灵、雁鸭等极简单的巢。（2）土洞巢，如翠鸟在泥沙崖壁上筑巢。（3）水面浮巢，如鸕鶿以苇叶结成盘状浮巢。（4）树洞巢，如啄木鸟、山雀等的巢。（5）建筑物内作巢，如雨燕、家燕、麻雀等。（6）悬挂巢，如黄鹌用植物纤维、麻、棉织物甚至塑料和草茎编织成吊篮式巢。（7）枝杈巢，如卷尾、伯劳在高大树上的枝杈上，三道眉、草鹀等在灌草丛的枝杈上用草茎编织成的巢，里面垫以兽毛等柔软物。

【雏鸟】孵化期满后，利用“卵齿”啄破卵壳而出的幼鸟。雏鸟刚孵出时有两种情况。一种在出壳后发育得已较充分，眼已张开，体被稠密的绒羽，绒羽干后就能随亲鸟觅食，这种雏鸟称早成雏。鸵鸟等走禽、企鹅、潜鸟、鸕鶿、雁鸭、雉鸡类、鹤类等均为早成雏，虽需亲鸟照顾，但不用亲鸟饲喂。另一种在出壳后未充分发育，身体光裸或仅在局部地方有小簇绒羽，眼尚不能睁开，不能独立取食，留居巢内靠亲鸟喂养一段时间，待飞羽长出能够飞翔

时才在亲鸟带领下离巢，逐步过渡到自己取食，这种雏鸟称晚成雏，树栖的猛禽，攀禽、鹭、鹤和鸣禽等为晚成雏。育雏工作常由双亲共同担任，非常繁忙，包括提供水、食物，保持雏鸟的体温、防雨、防晒、驱赶敌害以及清除巢内粪便和残余食物等。每天要往返 300 余次，每天育雏达 18—19 小时。出巢后还需带领雏鸟学习觅食和避敌的本领。

【早成雏】 见“雏鸟”。

【晚成雏】 见“雏鸟”。

【走禽】 双脚非常粗壮发达，善于在草原沙地上行走奔跑，而不会飞的鸟类。主要生理特征是：胸骨扁平，无龙骨突起。翅膀退化，有些变得很小。其种类包括非洲鸵鸟、鸸鹋、无翼鸟和食火鸡等。

【涉禽】 具有腿长、趾长、颈长、嘴长特征的鸟类。生活在水边，善于涉水，在浅水中捕食鱼、虾、贝类、水生昆虫和蠕虫等。不会游泳。如鹤、鹭、鹳等。

【游禽】 善于游泳的鸟类。脚短健，趾间具发达的蹼，嘴大多扁平而阔，善于在游泳中取食水中的鱼、虾、贝类、水生昆虫、蠕虫和水生植物。它们都在近水处营巢繁殖。常见的种有鸬鹚、鹈鹕、鸂鶒和雁鸭等。

【猛禽】 嘴粗壮，上嘴具利钩，脚强健，爪锐利弯曲，以捕杀其他动物为食的鸟类。种类包括主要白天活动的隼形目鸟类及夜行性

的鸚形目鸟类。

【陆禽】腿脚健壮，爪较钝，善于在地面行走、觅食的鸟类。陆禽可分为两类。一是象雉鸡那样，躯体结实、有坚硬的嘴和强而有力的脚和爪，雄鸟羽色艳丽的鹑鸡类，如孔雀、马鸡、锦鸡、角雉、虹雉、雉鸡、鹧鸪、山鹑等。另一类象鸽子那样，翅膀发达，善于飞翔，善于在地面觅食植物种子的鸠鸽类，如斑鸠、岩鸽和原鸽等。

【攀禽】身体结构适于攀援生活的鸟类。通常足趾结构发生相应的变化。有对趾足，脚短健，2趾向前，2趾向后，如啄木鸟、杜鹃等；鹦鹉亦为对趾足，而且弯曲的喙也能咬住树枝进行攀援；翠鸟等足趾基部发生不同程度的并合，为并趾足，利于握枝攀援；雨燕等足的4趾都朝前，为前趾足，适于扒住崖壁岩隙及墙缝。

【鸣禽】善于鸣叫的鸟类。在鸟类中，种类最多、数量最大。它们的鸣管鸣肌发达，能发出婉转动听的鸣叫声。善于筑巢而且巢精巧。足短而细，3趾向前，1趾向后，体态轻捷，活动灵巧而迅速。种类包括百灵、画眉、相思鸟、八哥和鹪鹩、莺、山雀、鹈等。

【迁徙】鸟类等动物在一年四季中，根据繁殖、越冬和取食等生命活动的需要，长距离更换住处的现象。迁徙是鸟类的本能活动，是对改变着的环境条件积极适应的本能。一般每年在繁殖区与越冬区之间周期性定期、定向而且集成大群地迁飞。根据鸟类是否进行迁徙，常把鸟类分为留鸟和候鸟。麻雀、喜鹊等终年栖息于繁殖地区而不迁徙的鸟类称留鸟。每年随季节不同，在繁殖区和越

冬区之间进行迁移的鸟类称为候鸟。其中夏季迁来繁殖，秋季南飞越冬的鸟类，在该地称夏候鸟，如楼燕、家燕、黄鹂等；冬季迁来越冬，春季北飞繁殖的鸟类，在该地称冬候鸟，如太平鸟、棕眉山岩鹟，一些雁鸭等；那些春季从南方飞来，然后飞向本地以北的地方繁殖，而秋季又从北方飞来，飞向南方越冬的鸟类称旅鸟或过路鸟，如红胁蓝尾鸲、红点颏、柳莺等。在留鸟中有不少种类在秋冬季节具有漂泊或游荡的习性，以获得较适宜的食物来源，被称之为漂鸟，如乌鸦、寒鸦等。

【候鸟】见“迁徙”。

【留鸟】见“迁徙”。

【漂鸟】见“迁徙”。

【旅鸟】见“迁徙”。

【环志】为研究候鸟迁徙规律而用合金铝、铜镍合金、不锈钢或塑料等材料制成的标志环。环上刻有标记，以表示戴环国家、单位或地址，并打上编号。将标志环戴在候鸟的跗蹠部、颈部、翅根或鼻孔处，并作详细记录，登记在专用的环志表或卡片上，然后再将鸟放飞。每年可以回收到的戴环志的鸟类中，得到大量的信息。可以了解被回收鸟类的迁徙路线、高度、速度、返巢习性、年龄、生活史、种群动态等方面的科学资料。环志工作的广泛开展，不仅可使鸟类生态学研究向纵深发展，同时还可利用候鸟为农林业服务，合理利用经济鸟类资源，采取更有效的措施保护濒危

鸟类，保障航空安全等方面，提供科学依据。

【夏蛰】又称夏眠。动物休眠的一种。动物对炎热季节的一种适应现象。变温动物对于炎热的气温和干燥环境有明显的适应方式，即体温下降，陷入沉睡状态，如南美肺鱼（*Lepidosiren paradoxa*）当水池干涸时，钻入淤泥之中，由鳃呼吸转变为以鳔呼吸空气，代谢降低，行动迟缓，陷入麻木状态。当旱期过后，即恢复其活力，进行生殖，若整年雨水充沛，南美肺鱼则不进入休眠状态。又如夏眠时的剑螈（*Ensatina*）将其放在湿土上，几小时后，皮肤吸水，体重大大增加，即夏眠出蛰。所以干旱和高温是夏眠的主要诱因。其他如非洲肺鱼、沙蜥、草原龟均有夏眠。除变温动物外，异温动物有的也有夏眠，如黄鼠（*Citellus*）。

【冬眠】又称冬蛰。动物进行的一种休眠。动物对寒冷季节的适应现象。天气寒冷时，冬眠动物体温被调节到接近环境温度水平，心率、代谢率和其他生理功能均相应降低，动物不活动，不进食，处于睡眠状态。变温动物和恒温动物中的异温动物都会出现冬眠，但它们是有区别的：变温动物在冬眠中如外界温度不提高，它是不会自觉的醒觉。例如在冬眠时遇到威胁死亡的低温，异温动物能够醒觉，而变温动物就没有这种机制。又如异温动物在冬眠开始之前，体内贮存大量脂肪供冬眠期间需要（如刺猬冬眠前体重可由 510 克增至 1310 克）。而变温动物冬眠前无这样明显的贮存现象。出现冬眠的异温动物主要是哺乳类中的啮齿目、食虫目和异手目等小型兽类。

【兽毛】哺乳动物体表的毛。由含角质蛋白的表皮细胞组成。每根

毛有三层结构：外层为毛表皮，具有保护作用，可减少机械和化学的损伤。中间为皮质，质地致密，具有坚韧性。中心为髓质，为多孔组织，起着隔热的作用。毛能增长，是由于埋于真皮的毛乳头不断供给养料的结果。毛分为绒毛、粗毛和触毛。绒毛细软，保温性好，一般在冬毛较发达，尤其毛用兽（如绵羊、兔等）的绒毛特别发达。粗毛长而粗硬，具有保护体表的作用。触毛即感觉毛，毛粗长而硬，毛根基部有丰富的神经纤维，能感知毛干接触的物体。食肉类的胡须、眉毛、颊毛、颌毛和喉毛均为触毛；鼠类的腹部、颈部、胸部等亦有触毛。毛受磨损和季节影响，哺乳动物形成每年两次换毛的特性。春换夏毛（短而稀），秋换冬毛（长而密）。

【育儿袋】哺乳纲的单孔目（反针鼹科）和有袋目（大多数种类）的雌兽，在生殖期，腹部皮肤绉成由袋骨支持的养育幼仔的袋。雌针鼹在临产卵前，约 7—10 天即开始发育出育儿袋。当革质壳的卵（一枚）产出后，雌兽用嘴将卵移入育儿袋中孵化，10 天即可。初孵出的幼仔极为细弱，在袋内舐食母兽的乳汁，直到身体长成硬刺才断奶离开母体，断奶后育儿袋自行消失。有袋类孕期特短，一般 10—13 天，负鼠仅 8 天，所产的幼仔极其细弱，身体裸露，无视力，靠前肢和嗅觉爬入育儿袋内。袋内有若干乳头（袋鼹 2 个、负鼠 19 个），幼仔衔住乳头后，乳头在嘴里扩大，使幼仔牢固地附着在乳头上，乳汁被压入幼仔口内，幼仔在育儿袋内发育成长，直到能独立生活。有袋类的育儿袋各有不同：负鼠育儿袋的袋口紧缩关闭，便于带仔游泳；袋狼育儿袋的袋口向后开；袋鼹的育儿袋分隔为两个，每个具一个乳头；最普通的是袋鼠的育儿袋，袋口向前开。

【耳肌】人类和部分哺乳动物具有的表情肌的组成部分之一。表情肌主要分布在面部的耳部、眼部、鼻部和口部。分布在耳部的表情肌，总称耳肌。有前耳肌、耳屏肌、耳上肌和耳后肌。耳屏肌可牵引耳屏移动，其他耳肌均能牵引外耳壳转动，可使耳壳朝着声波来源的方向移动，使之有效的收集声波，提高听觉的灵敏度。耳肌在食肉类已出现，灵长类发育得更好。人类耳肌已退化，而眼部和口部表情肌则相应更加复杂化。

【皮肤】皮肤的外在肌肉。受脊神经和内脏神经（面神经）所支配。为横纹肌。主要起于躯干肌、四肢肌或鳃节肌，止于皮肤。皮肤在胚胎发生时，是从体节肌分化出来的称脂膜肌，从鳃节肌分化出来的称颈括约肌。皮肤的脂膜肌从两栖类开始出现（鱼类无皮肤），如鼻孔周围的皮肤，能使鼻瓣后闭；胸皮肤是躯干前面腹部肌肉止于体壁和前肢间的皮肤。爬行类皮肤发达。蛇类的肋皮肤，可引牵腹鳞活动，暂时固着于地面，使躯干运动。蜥蜴和龟类颈括约肌发达。鸟类皮肤更发达，可调整羽毛平滑或一定程度的竖立。如雄鸡争斗、游泳或沙浴后鸟体作抖羽活动等都是皮肤的作用。哺乳类皮肤最发达。脂膜肌可使周身皮肤颤动，如穿山甲、豪猪、刺猬等能把身体蜷缩成球。有蹄类脂膜肌的颤动，可以驱逐蚊蝇或异物。高等的哺乳类脂膜肌反而退化。有的种类颈括约肌，由肩部和颈部向头面部扩展，由面神经支配，形成颜面肌或称表情肌。食肉类出现表情肌，灵长类发育较好，人的表情肌最发达，分化成近 30 块肌肉。

【乳腺】哺乳动物所特有的一种皮肤腺。它是由泡状腺和管状腺混

合形成的，其分泌物——乳汁含有丰富营养，用以哺育幼兽。鸭嘴兽的乳腺，不具乳头，乳腺开口在腹壁的乳腺区，仔兽用舌头舐食乳腺区的乳汁。针鼹的乳腺开口在育儿袋内，仔兽在袋内舐食乳汁。绝大多数哺乳动物乳腺集中于突出的乳头上，幼仔衔住乳头吸吮乳汁。乳腺管直接开口于乳头顶端的称真乳头，如有袋类、啮齿类、食肉类、灵长类等。乳腺管开口于乳头基部腔内，再由单一总管开口于乳头顶端的称假乳头，如奇蹄类和偶蹄类等。

【鹿茸】鹿类的角在未骨化之前切下来，经干燥后制成的名贵中药。制作鹿茸的鹿类有水鹿（*Cervus unicolor*）、白臀鹿（*Cervus macneilli*）、小麂（*Muntiacus reevesi*）、梅花鹿（*Cervus nippon*）、白唇鹿（*Cervus albirostris*）、马鹿（*Cervus elaphus*）和赤麂（*Muntiacus muntjak*）等。夏季将雄鹿的嫩角取下，用黄泥浆加食盐或白矾，在嫩角上涂敷一层，通风干燥，即成商品春茸。鹿茸含有大量的蛋白质、17种氨基酸、核糖核酸、三磷酸腺苷、雌二醇、维生素A，以及10余种无机盐等。用于壮元阳、补血，有益精髓、强筋骨的功效。主治虚劳、倦乏、眩晕、腰膝疼、阳痿和带下等症。

【角】哺乳动物头部表皮和真皮部分特化而成的产物，是有蹄类的防卫器官。哺乳动物中仅有偶蹄目中一些种类和奇蹄目中的犀牛具有角。角一般分为4种：（1）表皮角：由表皮角质层的毛状角质纤维组成，为犀牛所特有，印度犀牛一个，位于鼻骨正中；非洲犀牛两个，前后排列，前角位于鼻部，后角位于额部。（2）鹿角：为鹿科动物特有的角。春天新生骨质实心角，外包有嫩皮。此时的角称鹿茸，以后茸皮脱落；骨质角长成后，秋天亦脱落。鹿

角每年脱落、生长而且分叉。(3) 洞角：为牛科动物特有的角。中空的骨质角，外套有角质鞘。整个角终生不脱落而且不分叉。(4) 长颈鹿角：为长颈鹿科动物特有的角。骨质短角，长有普通皮肤，角不分叉，不脱落。

【蹄】某些哺乳动物指（趾）端的角质保护物。有蹄类特别发达。指（趾）端的背面前方由角质蹄弯曲包围，后方有角质垫形成的蹄楔。角质蹄中央部分是加宽加厚的角质皮。蹄能不断增生，以补偿行动中磨损部分。这种蹄衬于指（趾）端，支持全身重量，对于迅速奔跑和长途跋涉有重要的作用。象、海牛和蹄兔的指（趾）端背面，亦有扁平的蹄，这只是厚甲，是很不发达的蹄。

【蹄行】适应于奔跑的足型。以指（趾）端套有的蹄着地，而且指（趾）数趋向减少，四肢特别是掌蹠部的延长，对延长步幅、加快频率等有重要意义，因而形成善于奔跑的足型。有蹄类是典型的蹄行动物。

【趾行】适于奔跑和跳跃的足型。以末端两节指骨和趾骨着地，指（趾）骨末端带有钩状利爪，同时肢骨加长，掌蹠部分也明显加长，这对加大步幅，增加频率是很有用的。指（趾）端具有丰满的指（趾）垫，有助于跳跃。食肉目的犬科和猫科动物具有典型的趾行足。犬科指（趾）端的爪，钝而长，不能伸缩。猫科指（趾）端的爪，坚实而锐利，能够伸缩。因为指（趾）骨上有背弹性韧带和指（趾）屈肌，在奔跑时，锐爪缩回，避免惊扰猎物。在撕杀时，强爪伸出，有利捕猎。

【跖行】一种原始足型。前肢以掌骨和指骨，后肢以蹠骨和趾骨着地行走。大多数哺乳动物为跖行。指（趾）端具长而锐利的爪的，如贫齿目。指（趾）端具指（趾）甲的如灵长目。其他跖行性动物指（趾）端均具爪。

【麝香】皮肤腺的分泌物。在雄麝脐部至生殖孔之间，长有麝香囊（约 $6 \times 3 \times 5$ 厘米），中央小块裸露，周围覆盖有毛。囊内小腺分泌麝香，新鲜时柔软潮湿，赤褐色，干燥时呈粉末状，呈黑色。交配期，麝香腺分泌更多，香气浓郁，用于引诱雌麝。中国产麝香的有：林麝（*Moschus berezovskii*）、马麝（*M. sifanicus*）和原麝（*M. moschiferus*）。其中林麝分布最广。麝香为极名贵的药材，可配制数十种名贵中药，亦是西药的强心剂和兴奋剂，还是制作高级香料的原料。由于经济价值高，过去大肆滥捕，“杀麝取香”。1956—1975 年间，野麝减少 $2/3$ 。现在人工养麝，活体取香，每只雄麝可取麝香约 10 年以上。从而保护了野生动物资源和提高了麝香的产量。

【臀疣】又称臀胝。某些灵长类的臀部，在一定范围无毛、增厚、革质化，并常具颜色，这一部分特称为臀疣。臀疣常作为分类特征之一。如猕猴（*Macaca mulatta*）臀胝明显，多为红色，雌猴鲜红色。

【颊囊】哺乳动物颊部扩大形成的囊。许多啮齿类和东半球猴类常用颊囊贮存食物。如产于美洲的囊鼠（*Geomys*）利用颊囊搬运食物，颊囊开口于口腔两侧，囊壁覆有短毛。中国产的猕猴（*Macaca mulatta*）、红面猴（*Macaca speciosa*）都有用颊囊暂储食物的习性。

【回声定位】又称声纳。脊椎动物中的鼠类、有袋类、鼯猴、鳍脚类、食虫类、小蝙蝠亚目等种类和齿鲸类等，能发出 20 千赫以上的声波，高于人耳能接受的范围（20 赫—20 千赫）。称为超声波。动物发出的超声波遇到物体时能够返回，使动物能辨别到物体存在的方位。如棕色鼠耳蝠（*Myotis lucifugus*）大棕蝠（*Eptesicus fuscus*）等小蝙蝠亚目的种类，能发出 7—70 千赫的声波，通过回声定位，每分钟能搜索到 10 只蚊或 14 只果蝇。

【反刍动物】哺乳纲的偶蹄目动物中，具有反刍胃的一大群动物。在分类系统中归属于反刍亚目（Ruminantia）。包括：骆驼科（*Camelidae*），含 3 属 4 种；鼯鹿科（*Tragulidae*），含 2 属 4 种；鹿科（*Cervidae*），含 15 属 38 种；长颈鹿科（*Giraffidae*）2 属 2 种；叉角羚科（*Antilocapridae*）含 1 属 1 种；牛科（*Bovidae*）含 43 属 123 种。前二科动物的反刍胃具有三室，无瓣胃。后四科动物的反刍胃具有四室，即瘤胃、网胃、瓣胃和皱胃。

【反刍胃】具有将食物逆呕到口腔再咀嚼的机能的胃。一般由瘤胃、网胃、瓣胃和皱胃组成（见图）。食物在瘤胃中进行软化和发酵，引起胃的逆呕反射，将食物逆行送至口腔，再将经咀嚼后的食物送至网胃、瓣胃和皱胃。反刍胃中只有皱胃具有胃腺上皮，分泌胃液，进行消化。其他三部分均为食道的变形，无消化作用。偶蹄目中的骆驼科（*Camelidae*）和鼯鹿科（*Tragulidae*）种类，胃仅三室，无瓣胃，亦属反刍胃。

反刍胃

1. 瘤胃 2. 小肠 3. 皱胃
4. 食道 5. 网胃 6. 瓣胃

【飞膜】又称翼膜。具有滑翔和飞行能力的动物的体侧皮膜。翼手类是真正能飞翔的兽类，掌骨和指骨延长，特别是第三指骨至少相当于体长。飞膜从指骨、肩部、体侧、后肢及尾之间连成柔韧的薄膜。前肢第一指和后肢五趾位于飞膜之外，都具有锐利钩爪，用于倒悬身体。有的种类第二指亦有爪。翼手类的飞行能力很强，能作长距离飞行取食。如狐蝠（*Pteropus*）一次取食至少飞 15 公里。皮翼目的飞膜从耳后颈部到指端，经体侧，连趾端和尾端。掌骨和指骨均未特化，指（趾）全在飞膜内，爪在飞膜外。皮翼目的鼯猴（*Cynocephalus*）则沿树干活动和在树间滑翔，身体倒挂于树枝上。

【子宫】人和动物雌性生殖系统的一部分。从鱼类到哺乳类的单孔目都是卵生性或卵胎生性子宫，只有哺乳类有袋目以上才有胎生性子宫。胎生性子宫是胎儿原始生长发育的场所。因物种的不同，按构造可分为：（1）双子宫，如兔和象等。（2）二分子宫，如反刍类动物和大部分食肉类、啮齿类动物。（3）双角子宫，如部分食肉类、鲸类和食虫类等。（4）单子宫，如灵长类和犰狳类。人的子宫属于单子宫。

【双子宫】哺乳动物的原始型子宫。其特征为左右两侧子宫没有任何愈合现象，并分别各自单独开口于单一阴道。见于兔形目、啮齿目和蹄兔目的种类。有袋类也具有成对的子宫，但同时具有成对的阴道，并且两侧子宫分别开口于两侧阴道内。有的种类，在两侧阴道间伸出一盲囊，称阴道窦，它是产仔的通道，平时是封闭的。

【分隔子宫】左右两侧子宫的上部分各自分离，但下部分（即接近阴道部分）共同愈合，形成单一的开口，即开口于阴道，这种子宫称分隔子宫，又称双分子宫。见于多数的食肉类，某些啮齿类，少数翼手类，以及马和猪等动物。

【双角子宫】左右两侧子宫，进一步愈合，仅有上端未愈合。这部分呈两个分离的角，故名双角子宫。见于多数的有蹄类、食肉类、食虫类、鲸和象等。

【单子宫】左右两侧子宫完全愈合成单一的整体。单一的子宫上端连有一对输卵管，下端与单一的阴道相通。具单子宫的动物，产仔数少，成活率高。见于某些翼手类和部分灵长类。人类子宫属于此型。

【肾】脊椎动物体内的主要排泄器官。是将循环血液在肾中经过过滤、重吸收等过程生成尿液，以排除体内多余的水、盐和代谢产物，同时调节体内的水平衡、电解质平衡和酸碱平衡。高等动物的肾还具有内分泌功能。人的肾脏是成对的器官，呈蚕豆状，稍扁，外缘隆突，内缘凹陷，为神经与血管出入和淋巴管与输尿管

引出的肾门。成年人的肾脏位于腹腔上部腹膜后的脊柱两侧，右肾因肝脏而稍低。每个肾的重量约 150 克。

【前肾】脊椎动物胚胎发生的早期，靠胚体的前端，中胚层体节出现若干对生肾节，由它形成胚胎前期肾脏，即前肾。生肾节在各类脊椎动物中数目不同，圆口类有 6—13 对，软骨鱼类 4—7 对，硬骨鱼类 3—9 对，蝾螈 2—4 对，蛙 3 对，爬行类 5—7 对，鸟类 12 对，兽类 8 对，人类 3 周时 7 对。羊膜动物的前肾在尚未产生肾功能之前就消失了。无羊膜动物胚胎期，前肾具有泌尿功能。尿液经体腔、肾口、前肾管和原肾管排出。

【中肾】羊膜动物第二胚胎肾。胚胎时期前肾出现不久，其后即出现中肾。中肾在胚胎时期持续很久（爬行动物保存到出生后），并具有泌尿功能。中肾占据胚体的大部分部位，从前肾后直达腰部。中肾大都无肾口，具有肾小体和弯曲的肾小管以及中肾导管。尿液由肾小体滤出，经肾小管和中肾导管排出。身体前部分中肾，每一体节仅一对肾单位；而后部分中肾，肾单位增多，分节现象就变得模糊。羊膜动物胚胎发育完成后，将由后肾代替胚胎肾。无羊膜动物的成体肾类似羊膜动物的胚胎肾。不过，雄性的输尿管（相当中肾导管）兼输精作用。过去曾将无羊膜动物的成体肾称中肾，易同羊膜动物的胚胎肾相混淆，应称次肾或后部肾较妥。

【后肾】羊膜动物的成体功能肾。当胚胎发育后期，中肾后端背面，聚集一团生肾节细胞，分化成肾单位。从中肾导管的后端伸出一新管——输尿管，伸向肾单位，输尿管又伸出许多小支管即集尿管，许多肾单位与集尿管相通。这就形成一定形状的后肾。后肾

体积大，肾单位显著增多，肾机能效率大大提高，以适应羊膜动物的高代谢率。

【胎盘】胎儿在母体子宫内着生的部位。此为哺乳类繁殖时特有的结构。它是由胎儿的绒毛膜和尿囊形成指状绒毛，伸入母体子宫内膜，形成胎儿着生的部位即胎盘。指状绒毛伸入子宫内膜犹如树根插入土壤，母与子的结构以疏松的特殊组织相连，物质和气体交换通过选择性渗透进行，而不是直接相通。胎儿发育靠母体通过胎盘提供养料和氧气，胎儿的代谢废物通过胎盘从母体排出。哺乳动物的胎盘分无蜕膜胎盘和蜕膜胎盘两大类，前者的尿囊和绒毛膜与子宫内膜结合不紧，生产时不流血。后者的尿囊和绒毛膜与子宫内膜结合紧密，生产时大量流血。无蜕膜胎盘包括两类。分散胎盘：绒毛均匀分布，如猪、鲸和狐猴等。叶状胎盘：绒毛汇集呈小叶状，如大多数反刍动物。蜕膜胎盘也分两类。环状胎盘：绒毛呈环状带分布，如食肉类、象、海豹等。盘状胎盘：绒毛分布呈盘状，如食虫目、翼手目、啮齿目、灵长目的多数种类等，人类胎盘也属此类。

【热定位器（蛇）】又称热能感受器、红外线感受器。现存蛇类中的蝮亚科和蟒科具有的特殊感受器。蝮亚科蛇类在鼻孔与眼之间有一凹陷称为颊窝。颊窝表面具有薄膜，膜下有两个小腔，内腔有小管开口于皮肤，调节压力。两腔之间的薄膜内，有第五对脑神经的神经末梢（内满布线粒体）分布，能测出 0.02°C 的温差。电镜观察表明，当神经末梢接受刺激后，线粒体形态即发生变化，这提示线粒体可能构成初级热感受器。蛇类夜间捕食，全凭颊窝对温差感觉的灵敏，测出小型恒温动物的准确位置，进行捕猎。蟒

蛇的唇窝，也是特有的热测位器。热能感受器和热测位器都对红外线特别敏感，能确定发出热能物体的位置，并作出反应。这是仿生学研究的内容之一。

【超声定位（蝙蝠）】蝙蝠发出超声波搜索捕获物确切的位置。蝙蝠是夜行性食虫动物。需要在黑暗中迅速探明目标，并有灵活操纵自己以捕获猎物的能力，在长期适应过程中，发展了一套超声定位的导航系统。蝙蝠小脑特别发达，协调运动和保持姿势的能力很强。耳蜗很大，耳壳扩展并能随声源方向而转动，大大提高听觉能力。小蝙蝠亚目的种类都具有这种超声定位的系统。蝙蝠科（Vespertilionidae）的种类，超声波从口腔发出，如大棕蝠（*Eptesicus fuscus*）、棕色鼠耳蝠（*Myotis lucifugus*）等发出 7—70 千赫之间的超声波（人正常听觉范围 20 赫—20 千赫之间），遇到目标后，灵敏的听觉系统就能感知反回的信息。因此，蚊虫、果蝇之类的昆虫均能被搜捕到。雷达应用同样的原理，搜集军事目标。

【珍稀动物】即珍贵稀有的动物种类。物种遭毁灭后，是不能复生的。许多动物由于数量长期的锐减而成为稀有物种，甚至为濒危物种。近代地球上已有百余种脊椎动物灭种，引起了世界各国的关注。中国政府采取多种措施保护珍稀动物。列为国家重点保护的野生动物已有数百种，其中著名的珍稀动物如：金丝猴、长臂猿、大熊猫、野象、东北虎、华南虎、雪豹、野马、麝、麋鹿、朱鹮、天鹅、黄腹角雉、绿孔雀、扬子鳄、中华鲟等等。国家级的自然保护区已达数百处，为保护珍稀动物起到了重要作用。

【濒危动物】濒临灭绝的动物类群。造成濒危动物的原因主要是在动物分布区内，动物栖息地的生态系统遭到严重破坏。例如热带森林消失、绿洲沙漠化，河流系统筑高坝和填海造陆等，都可使一些动物面临绝灭的危险。另外，化学污染、气候变化和人们随意捕杀等原因也可造成某些动物濒危。在濒危动物中，包括不少珍贵种类，例如朱鹮 (*Nipponia nippon*)。此鸟曾广泛分布于亚洲东部，现已接近绝迹。在陕西洋县发现朱鹮巢群，数量仅 17 只，这是目前世界上唯一的野生种群。又据文学记载，大熊猫曾广泛分布于河南、湖北、湖南、贵州和云南等地，现仅生存于四川西部、北部和甘肃南部，并呈断裂分布，数量很少。野马、麋鹿、麝、金丝猴、坡鹿、扬子鳄等也都处于濒危之中。中国非常重视对濒危物种的拯救工作。

【自然保护区】国家设置专门的区域，以保护其中的自然资源。在保护区内，严格执行保护资源的各项规定。积极开展科研工作，调查资源种类；采取措施，拯救濒危物种以及招引和驯化有益种类；并利用自然条件，恢复和发展生物资源。中国已建立 300 余处自然保护区，保护动物约 200 余种，植物约 400 余种。自然保护区分为三种类型，即森林类型、野生动物类型及自然历史遗迹类型。各类型均有侧重面，已取得显著效果，如濒临绝灭的银杉、金花茶、金丝猴、扭角羚、坡鹿等在种群数量上，已逐步得到恢复和发展。

【动物地理分界】一般指当代地球上陆生脊椎动物的分布区的划分。根据长期的地理隔离和动物区系的性质，可划分为 6 个地理界，它们是：古北界、新北界、新热带界、热带界，东洋界和澳

大利亚界。古北界最大，包括欧洲、北非、阿拉伯，以及喜马拉雅山和秦岭以北的亚洲大陆，产哺乳纲 38 科，鸟纲 63 科，爬行纲 18 科，两栖纲 10 科。新北界包括北美洲和墨西哥北部，产哺乳纲 37 科，鸟纲 63 科，爬行纲 21 科，两栖纲 12 科。新热带界包括南美、中美和墨西哥以南地区，产哺乳纲 51 科，鸟纲 91 科，爬行纲 26 科，两栖纲 11 科，脊椎动物数目之多，是世界之冠。热带界包括非洲撒哈拉以南、马达加斯加岛及阿拉伯南部，产哺乳纲 59 科，鸟纲 84 科，爬行纲 22 科，两栖纲 8 科，本界特产种类繁多。东洋界包括中国秦岭和喜马拉雅山脉以南、印度、斯里兰卡、泰国、缅甸、越南、马来半岛、菲律宾群岛、苏门答腊、爪哇及加里曼丹等地区，产哺乳纲 45 科，鸟纲 77 科，爬行纲 26 科，两栖纲 10 科，本界气候温和潮湿，植物繁茂，动物亦繁多。中国国土兼跨东洋界和古北界，在东部地区动物分布常不易清楚划分。澳大利亚界包括澳大利亚、塔斯马尼亚、新几内亚和印度尼西亚的许多岛屿，产哺乳纲 22 科，鸟纲 74 科，爬行纲 16 科，两栖纲 5 科，本界以产原始古老种类，缺乏其他各界所产的真兽亚纲动物而著称。东洋界与澳大利亚界间的分界线穿过印尼的巴厘岛与龙目岛之间，称为华莱士线。

【动物地理分区（中国）】中国疆域辽阔，各地差异显著，根据鸟兽区系划分，可分为东北、华北、蒙新、青藏、西南、华中、华南 7 个区，前 4 区属古北界，后 3 区属东洋界。（1）东北区，包括大、小兴安岭、长白山区和松辽平原及新疆最北部的阿尔泰山区，区内耐寒森林动物繁盛，啮齿类为优势种，大型草食兽类不少，松鸡科种类为常见狩猎对象。（2）华北区，包括黄河、淮河流域，西自黄土高原、东临黄、渤海，啮齿动物广泛分布，经济

鸟类较多。(3) 蒙新区，包括内蒙古，东北西部，宁夏、甘肃西北部及新疆，东部为草原地带，西部为荒漠和半荒漠地带，以啮齿类和蹄类最繁盛。(4) 青藏区，包括由昆仑山、喜马拉雅山和横断山脉围绕的高原，气候寒冷，食物稀少，动物种类贫乏，而适应高原草甸及冻荒漠的种类有牦牛、藏羚、雪豹、兀鹰、雪鸡、藏雀等等。(5) 西南区，包括四川西部，云南北部和西藏东南部，植被由高山针叶林至亚热带常绿林都有，产名贵特有动物，如大熊猫、小熊猫、金丝猴等。鸟类以画眉科和雉科为优势种。(6) 华中区，包括长江中、下游及其支流地区，植被为温带夏绿林及亚热带常绿林，动物区系以东洋界成分居多，特有种如白鳍豚、红面猴、金鸡等。(7) 华南区，包括云南与两广南部、福建东南沿海、台湾及海南岛，植被以热带雨林和季风林为主，其代表性动物有长臂猿、懒猴、叶猴、台湾猴、亚洲象、华南虎、犀鸟、阔嘴鸟和孔雀等。

生命的物质基础

元素和无机物

【生物元素】生物体内存在的化学元素。世界万物都是由元素组成的，生物也不例外。组成生物体的化学元素各不相同，有多有少。按照量的多少可分为大量元素和微量元素。大量元素有碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、硫(S)、钾(K)、钠(Na)、

钙 (Ca)、镁 (Mg)、氯 (Cl) 等。碳、氢、氧、氮在生物体内占 99% 以上。许多有机化合物都是由这些元素组成的。如糖类、脂类、蛋白类与核酸类等生物大分子。其余的化学元素虽然比碳、氢、氧、氮的含量少，但也相当丰富。这些元素绝大多数都以结合形式存在于有机物质中，构成生物体的各种组织器官（如骨骼、神经、肌肉、结缔组织、心、肝、肺、脾、胃、肾等）。也有一些化合物或元素以离子的形式存在于体液中（如酶、激素、各种因子及 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等），执行各种各样的生物功能。微量元素有铁 (Fe)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、锰 (Mn)、钴 (Co)、碘 (I)、钼 (Mo)、钒 (V)、镍 (Ni)、铬 (Cr)、氟 (F)、锡 (Sn)、硒 (Se)、硅 (Si)、硼 (B) 和砷 (As)，是生物体营养所必需，但需要量非常少。它们的生物功能在生物体内十分重要。如血红蛋白，肌红蛋白和细胞色素 c 中的铁，胰岛素中的锌。超氧化物歧化酶 (SOD) 中的铜和锌。维生素 B_{12} 中的钴，甲状腺素中的碘，牙齿中的氟等。

生物体除了必需的碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钠等元素外，还需要极少量其他元素，如植物需要硼、砷、锰、铜、钴等元素，人体需要微量铁、氟、硒、锌、铜、钼、钴、铬、锰、碘、镍、锡、硅、矾等元素。人体所必需的 14 种微量元素，对人体健康起着重要作用。在临床上的应用受到重视。长期缺少这些微量元素就会出现某些元素缺乏症。如食物中（包括饮用水）氟含量过少，易患龋齿病。食物中长期缺碘，易引起地方性甲状腺肿大，俗称大脖子病。锌元素缺乏易得糖尿病，硒缺少也会引起许多疾病的发生，如克山病、不孕症、心脏病、贫血、白内障、糖尿病等。

【水】无色、无臭、无味的液体，化学式为 H_2O 在标准大气压下，摄氏零度时，凝结成冰。摄氏 $100^{\circ}C$ 时沸腾，在摄氏四度时密度最大，比重为 1。水是机体中含量最多的组成成分，是维持人体正常生理活动的重要营养物质之一，人若不吃食物只喝水，可生存数十日之久，若无水供应只能生存数天。水的生理功能是多方面的。如调节体温、促进物质代谢、润滑作用等。正常成年人每天水的需要量约为 2500 毫升，若以每公斤体重计算，则每天每公斤体重约需 40 毫升。婴幼儿的需水量以每公斤体重计算比成年人高约 2—4 倍。水是一切生命不可缺少的物质。

【无机盐】属于无机化合物的盐类。如硫酸铵、磷酸钙、碳酸钠、氯化钾、氯化钠等等。无机盐对生物有构成组织，影响酶的活性及调节生理等功用。一切细胞都含有多少不等的矿物质元素。如动物的骨骼、牙齿含有磷、镁、钙、氟。肌肉和血液中含有钾、钠、钙、镁、磷、硫、氯等元素。有的酶类本身就含有金属离子如铜、铁等。某些金属离子对酶有激活或抑制作用。无机盐对调节体液的酸碱平衡，维持渗透压都起着重要的作用。生理盐水就是根据血浆中各种阳离子浓度的比例和渗透压等生理要求配制的。生理盐水即 0.9% 的氯化钠溶液。

糖 类

【单糖】大多是多羟醛和多羟酮类化合物。分子结构比较简单，不能加水分解成更简单的糖类。如葡萄糖、果糖、半乳糖、甘露糖、

核糖等。单糖在人体内，不经过分解就能吸收。单糖衍生物如糖醛酸、磷酸糖酯、糖苷、糖醇、氨基糖和脱氧糖等都是生物体内存在的重要化合物。

【寡糖】又称低聚糖。由比较少数分子的单糖（2—6 个）缩合形成的糖。如双糖、三糖等。双糖有麦芽糖、蔗糖、乳糖和纤维二糖等。三糖有棉子糖。寡糖可水解成各种单糖。如麦芽糖可水解成两个 α -D-葡萄糖。蔗糖水解成一个 α -D-葡萄糖和一个 β -D-果糖。乳糖可水解成一个 α -D-葡萄糖和一个 β -D-半乳糖。纤维二糖可水解成两个分子的 β -D-葡萄糖。棉子糖与酸共煮时，即行水解，生成葡萄糖、果糖和半乳糖各一分子。在蔗糖酶作用下，棉子糖可分解出果糖和蜜二糖；在 α -半乳糖苷酶作用下，棉子糖可分解成半乳糖和蔗糖。

【多糖】由多个单糖分子缩合、失水形成的糖类物质。由一种单糖缩合而成的有戊糖胶、木糖胶、阿拉伯糖胶、己糖胶等。这些又称均一多糖。也可由不同类型的单糖缩合而成。如结缔组织中的透明质酸，称为不均一多糖。多糖在水溶液中不形成真溶液，只能形成胶体，没有甜味，没有还原性，有旋光性，但无变旋现象。多糖与人类生活关系极大，衣、食、住都离不开多糖。最重要的是淀粉、糖元和纤维素。由于生物膜化学和医学生化的发展，粘多糖和细菌多糖亦日益显示其重要性。

【甘油醛】一种含三个碳原子的醛糖，又称丙糖。它的同分异构体称二羟丙酮，它们的磷酸酯是糖代谢的重要中间产物。在确定氨基酸、糖类和有关化合物的 D 系和 L 系构型时，它是参考化合物。

【二羟丙酮】见“甘油醛”。

【核糖】戊醛糖的一种，在自然存在的主要有 D-核糖，D-2-脱氧核糖，它们是核酸的组成成分。它的衍生核醇是某些维生素与辅酶的组成成分。核糖与脱氧核糖以呋喃型存在于天然化合物中。

【脱氧核糖】含有醛基的戊糖，脱氧核糖核酸 (DNA) 的主要成分。与核糖的区别，在第二个碳原子（紧接醛基的）上无氧原子。

【葡萄糖】六碳醛糖的一种。水溶液旋光向右，故又称右旋糖。某些植物的果实中含量丰富，也是动物血液中的主要糖类。血液中的葡萄糖又称血糖。广泛分布于生物界，为某些双糖，如蔗糖、乳糖、麦芽糖等和多糖，如淀粉，糖原、纤维素等的组成成分。工业上由淀粉水解制得葡萄糖。医学上主要作为输液用的营养剂。食品工业用作调味品。

【甘露糖】六碳醛糖的一种，是植物粘质，结核菌多糖和半纤维素的组成成分。在稀碱溶液中通过烯醇式可以变成葡萄糖或果糖。

【半乳糖】六碳醛糖的一种，和一个分子葡萄糖结合构成乳糖。是乳糖、蜜二糖、棉子糖、琼胶、粘质和半纤维素的组成成分。

【岩藻糖】一种六碳脱氧醛糖。又称 α -L-b-脱氧半乳糖。存在于某些细菌的细胞壁中。

【果糖】六碳糖的一种， C_2 为一酮基，故称酮糖。常见糖类中最甜的糖，水溶液旋光方向向左，亦称左旋糖。果汁及蜂蜜中含量较高，与葡萄糖结合成蔗糖。

【麦芽糖】由两个葡萄糖分子缩合、失水形成的二糖。两个糖分子之间形成的键为 α -1,4-糖苷键。麦芽糖大量存在于发芽的谷粒内，特别是麦芽中。淀粉、糖原被淀粉酶水解也可产生少量的麦芽糖。淀粉水解产生的麦芽糖，俗称饴糖。如果两个分子 α -D-葡萄糖按 α -1,6-糖苷键缩合失水，则生成异麦芽糖，它存在于枝链淀粉和糖原中。

【纤维二糖】由两个分子 β -D-葡萄糖按 β -1,4 糖苷键缩合失水形成的二糖。与麦芽糖不同，它是 β -葡萄糖苷。是纤维素的基本结构单位。水解纤维素可得纤维二糖。

【乳糖】由 α -D-葡萄糖和 β -D-半乳糖各一分子以 β -1,4 糖苷键缩合失水形成二糖，又称半乳糖苷。它是哺乳动物乳汁中主要的糖。牛奶含乳糖 4%，人奶含乳糖 5—7%，它是乳婴食物中唯一的糖。乳糖不易溶解，味不甚甜。能被酸水解。

【蔗糖】由 α -D-葡萄糖和 β -D-果糖按 α , β -1,2 糖苷键缩合失水形成的二糖。它存在于甘蔗、甜菜、胡萝卜和有甜味的果实（如香蕉、菠萝等）中。蔗糖很甜，日常食用的糖主要是蔗糖。易溶于水、易结晶，但难溶于乙醇。若将蔗糖加热至 160°C ，便成为玻璃样的晶体，热至 200°C 便成棕褐色的焦糖。常被用作酱油和食物的增色剂。

【淀粉】由许多葡萄糖分子通过 α -1,4 糖苷键结合而成的多糖。由于键合的形式不同，淀粉分为直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉遇碘呈蓝色，支链淀粉遇碘呈紫色或红色。淀粉经酸或酶水解时，逐渐转变为可溶性淀粉、红色糊精、无色糊精、麦芽糖、葡萄糖。淀粉存在于植物的谷粒、果实、块根、块茎、球茎中，为植物的贮藏多糖。如米、麦、番薯、马铃薯、玉米及许多植物的种子、干果中含量都很丰富。除供食用外，常用于发酵、纺织和食品工业。

【糊精】淀粉水解过程中形成分子大小不同的各种中间产物。分子大小不同遇碘所呈现的颜色也不同。因此有紫、红、无色等不同的糊精。

【糖原】由多个葡萄糖分子结合而成的多糖。主链通过 α -1,4 糖苷键结合，而支链通过 α -1,6 糖苷键连接，每个分枝含有 12—18 个糖的残基，主链上每隔三个葡萄糖单位就有一个分枝，分枝上又产生分枝，也相隔三个葡萄糖单位。最外围的分枝约含 6—7 个葡萄糖单位。糖原是动物体内贮存的多糖，其结构类似于支链淀粉。亦称动物淀粉。主要存在于肌肉和肝脏中。存在于肌肉细胞中的称肌糖原，存在于肝脏细胞中的称肝糖原。肝糖原的合成和分解，可迅速调整体内的血糖水平。糖原的多分枝结构，为迅速调整血糖水平提供条件。糖原溶于沸水中，遇碘呈棕红色。

【纤维素】许多葡萄糖以 β -1,4 糖苷键结合而成的多糖线形分子。不溶于水，在酸的作用下发生水解，产生一系列的中间产物，最后形成葡萄糖。为植物纤维部分的主要成分，是自然界最丰富的

化合物。如棉花、麻、树皮、野生植物等。最纯的纤维素是棉花，它含 97—99% 的纤维素。此外，各种作物的茎秆，如麦秆、稻草、高粱秆、甘蔗渣等也是纤维素。对植物体有支持和保护作用。除被反刍动物利用外，不能被一般动物直接利用。一般动物的口腔、胃、肠都不含纤维素酶，不能把纤维素水解，故对人及多数动物均无营养价值，但有利于刺激肠胃蠕动，帮助消化。可被若干微生物所消化。纤维素可被硝酸、醋酸等酯化形成各种纤维素酯。棉花形成的纤维素酯称硝酸纤维素，是黄色无定形固体，用来制造无烟火药。纤维素也是造纸、人造丝、人造棉等工业的主要原料。纤维素具有亲水性，并对不同化合物亲和力也不同，因此在生化研究中可作为层析载体。把纤维素接上其他化学基团可制成各种离子交换纤维素，其中常用于生化分析及生物物质分离的有 DEAE-纤维素、AE-纤维素等阴离子交换纤维素和羧甲基纤维素、磷酸纤维素、磺酸纤维素等阳离子交换纤维素。

【半纤维素】多聚糖类物质。用稀酸水解后产生大量的已糖和戊糖，所以是多聚戊糖（如多聚阿拉伯糖、多聚木糖）和多聚已糖（如多聚半乳糖和多聚甘露糖）的混合物，大量存在于植物木质化部分。

【果胶】一种有机化合物，无定形胶状物质。由果酸甲酯组成。（果酸是由 D-半乳糖醛酸以 1,4 糖苷键连接而成），是鲜果的共有成分，存在于植物果实的细胞膜中。在食品工业上用途甚广。可用来制造果酱、糖果等。

【琼脂】某些海藻（如石花菜属）所含的一种酸性多糖物质，主要

成分是多聚半乳糖，含有硫和钙。常用作微生物培养液的凝固剂和区带电泳、免疫扩散的支持物。琼脂糖的商品名称为 Sepharose，可用于凝胶过滤。食品工业中常用于制造果冻、果酱等。1—2%的琼脂在室温下便能形成凝胶。

【葡聚糖】又名右旋糖苷。以葡萄糖为单位组成的多糖，是 D-葡萄糖支链多糖。在细菌和酵母中作为贮存物质。用细菌葡聚糖加入交联剂（1-氯-2,3-环氧丙烷）可制成交联葡聚糖。用于凝胶过滤，来分离纯化生物大分子。

【粘多糖】一类含己糖胺和糖醛酸的杂多糖。由多个二糖单位形成的长链多聚物。含有硫酸的称为酸性粘多糖，如硫酸软骨素 A、B、C 和肝素等。

【糖苷】环状葡萄糖具有半缩醛羟基，在适当条件下可与醇脱水生成缩醛，这些缩醛称糖苷。单糖有 α 和 β 两种类型，所以单糖苷也有 α 、 β 两种类型。如 D-葡萄糖与甲醇反应生成两种糖苷，即 α -甲基-D-葡萄糖苷和 β -甲基-D-葡萄糖苷。葡萄糖苷是最简单的糖苷，天然存在的糖苷多为 β -型。其中非糖部分称配糖体，如甲基等。如果配糖体也是单糖，生成的糖苷即双糖。如蔗糖，也称葡萄糖- α ， β -1,2-果糖苷。核糖和脱氧核糖与嘌呤碱或嘧啶碱形成的糖苷，称为核苷和脱氧核苷，在生物学上具有重要意义。糖苷广布于生物界。中草药的有效成分多属于糖苷类化合物，如苦杏仁、某些强心药等。此外花青素等也是糖苷类化合物。

【氨基糖】又称糖胺。己糖分子中一个羟基被氨基取代的衍生物。

如 2-氨基- β -D-葡萄糖或称 2- β -D-葡萄糖胺。2-氨基- β -D-半乳糖或称 2- β -D-半乳糖胺。常见的是 D-葡萄糖胺，存在于几丁质和粘液酸中，半乳糖胺是软骨的成分。

【透明质酸】由 N-乙酰葡萄糖胺与 D-葡萄糖醛酸组成的粘多糖，分子为链状，无分枝，其结构单位是 D-葡萄糖醛酸与 N-乙酰葡萄糖胺以 β -3,1 糖苷键连接成的二糖。透明质酸广布于结缔组织、眼球的玻璃体、角膜、细胞间质、关节液，某些细菌壁以及恶性肿瘤组织中。

【几丁质】又称壳多糖。由 N-乙酰-D-葡萄糖胺，以 β -1,4 糖苷键缩合失水形成的线性均一多糖。其结构与纤维素相似，功能也与纤维素相似。是无脊椎动物（如虾、蟹等）外骨骼的主要成分。

【肝素】由两种 D-糖醛酸与两种硫酸 D-葡萄糖胺组成的多聚物，即硫酸艾杜糖醛酸基、二硫酸葡萄糖胺基、D-糖醛酸基和硫酸 D-2-葡萄糖胺基。肝中肝素含量最丰富，因此得名。它广泛分布于哺乳动物的组织和体液中。如猪胃粘膜中含量很多，肺、脾、肌肉和动脉管壁肥大组织中含量也很高。肝素具有阻止血液凝固的特性。是动物体中的抗凝血素。目前输血时，以肝素为抗凝剂。临床上，常用于防止血栓形成。

【脂多糖】革兰氏阴性细菌的细胞壁外膜的组织成分，其分子结构一般由外层专一性低聚糖链、中心多糖链及脂质组成。专一性低聚糖链的组分随菌株而异，各种菌的中心多糖链都极其相似或相同，都有脂质。脂质与中心多糖相连接。有的细菌脂多糖结构已

弄清楚，例如鼠伤寒沙门氏菌的脂多糖结构。脂多糖对适应细菌周围环境和生长，都是必不可少的。

【尿苷二磷酸葡萄糖】简称 UDP-G。是糖原生物合成时，葡萄糖残基的中间供体。是葡萄糖的激活形式。在糖原合成酶的作用下，UDP-G 的葡萄糖残基转移到引物（小分子糖原）分子的非还原性末端上，形成新的 α -1,4 糖苷键。进而形成糖原。

【硫酸软骨素】一种粘多糖，是骨骼和软骨的重要成分。有 A、B、C 等 3 种。硫酸软骨素 A 为 D-葡萄糖醛酸与 N-乙酰半乳糖胺所组成。 SO_4^{2-} 根在乙酰半乳糖胺的 C-4 位上。D-葡萄糖醛酸与 2-乙酰氨基半乳糖硫酸酯的连接是 β -1,3 糖苷键。硫酸软骨素 B 的 SO_4^{2-} 根连接在乙酰半乳糖胺的 C-4 位上。硫酸软骨素 C 的 SO_4^{2-} 根连接在乙酰半乳糖胺的 C-6 位上。硫酸软骨素是软骨素的硫酸酯，在结缔组织、筋腱、皮肤、心脏瓣膜、唾液中也含有。在机体中它与蛋白质结合形成糖蛋白。

脂 类

【脂肪酸】又称脂酸。链状羧酸的总称。同甘油结合生成脂肪。是动物、植物和微生物脂质的基本组成成分。一般从脂肪水解得到，也可人工合成。天然界的脂肪酸约有百余种，分布极广。常见的脂肪酸多含偶数碳原子。如硬脂酸、软脂酸、油酸和亚油酸等等。含有双键的脂肪酸为不饱和脂肪酸，多存在于高等植物中；不含

双键的脂肪酸为饱和脂肪酸，多存在于动物体内。高等动植物的脂肪酸有以下共性：(1) 脂肪酸链长为 14—20 个碳原子的占多数，且都是偶数。(2) 饱和脂肪酸中一般是软脂酸和硬脂酸。不饱和脂肪酸中一般是油酸。(3) 在高等植物和低温生活的动物中，不饱和脂肪酸的含量高于饱和脂肪酸的含量。(4) 不饱和脂肪酸的熔点比同等链长的饱和脂肪酸的熔点低。(5) 高等动植物，含一个双键的不饱和脂肪酸，其双键位置一般在第 9, 10 碳原子之间，含有多个双键的不饱和脂肪酸中的一个双键也位于第 9, 10 碳原子之间。(6) 高等动植物的不饱和脂肪酸，几乎都具有相同的几何构型，绝大多数属于顺式（指连接在双键两个碳原子上的 H，在双键的同一侧，称顺式）。维持哺乳动物正常生长所必需的，而体内又不能合成的脂肪酸，称为必需脂肪酸，如亚油酸、亚麻酸等。菜籽油催化加氢时，即可产生大量的反油酸，催化加氢是制造黄油的必需步骤。脂肪酸在机体代谢中，具有重要的生物功能。

【甘油酯】 又称真脂、中性脂肪、甘油三酯。甘油和脂肪酸所构成的酯。生物体内贮能的物质，在动物体内有保护和支持内脏的功能，也是食用油（如各种植物油、猪油、羊油、牛油等）的主要成分。甘油酯一般在动物体内称脂肪，而在高等植物体内称为油。油为液态，含有不饱和脂肪酸；脂肪为固态，含有饱和脂肪酸。如把油催化加氢，可变成脂肪。

【磷脂】 含磷酸的类脂质。类脂质包括脂肪、磷脂、糖脂、固醇、蜡等，是生物体脂类成分的总称。脂类具有不溶于水而溶于脂溶剂（醇、醚、氯仿、苯等）的特性。磷脂在动物的脑、肝、卵中含量较多，植物以种子含量较多。主要有卵磷脂、脑磷脂，还有

肌醇磷脂、缩醛磷脂和心肌磷脂等。

【糖脂】一类具有一般脂类溶解性质的含糖脂质。分子中含有糖分子，不溶于水而溶于脂溶剂。糖脂可分为 N-酰基神经醇糖脂和甘油醇糖脂。N-酰基神经醇糖脂包括脑糖脂，含有一个分子半乳糖，是哺乳动物组织中存在的最简单的神经醇糖脂和神经节糖脂，其组分为神经氨基醇、脂酸、半乳糖、葡萄糖和唾液酸。存在于大脑灰质、神经节细胞、红细胞、脾、肝和肾等软组织中。其生物功能是在神经突触的传导中起重要作用。甘油醇糖脂是由甘油二酯与已糖（主要为半乳糖或甘露糖）或脱氧葡萄糖结合而成的化合物。糖脂的生物功能与生物膜的功能有着密切的关系。

【卵磷脂】含有胆碱的缩醛磷脂。在分子中含有甘油、脂酸、磷酸、胆碱等基团的化合物。其结构和甘油三酯不同之处，是一个脂酰基被磷酰胆碱基所代替。卵磷脂有 α 型和 β 型之分。磷酰胆碱基连接在甘油基的第 3 碳原子上称为 α 型卵磷脂；磷酰胆碱基连接在甘油基的第 2 碳上，称为 β 型卵磷脂。卵磷脂为白色蜡状固体，在低温下可结晶，易吸水变成棕黑色胶状物。不溶于丙酮，但溶于乙醚及乙醇，在水中呈胶状液。经酸或碱水解后，可得脂酸、磷酸甘油和胆碱。磷酸甘油在体外很难水解，但在生物体内可经酶促水解生成磷酸和甘油。卵磷脂分子的磷酰胆碱端有极性称为极性端，可与水相吸。其余的脂酸碳氢链端称为非极性端或疏水端。

【脑磷脂】氨基乙醇磷脂和丝氨酸磷脂的混合物。其结构与卵磷脂类似，只是分别以氨基乙醇或丝氨酸代替胆碱。其性质也与卵磷脂相似，不安定、易吸水，在空气中易氧化为棕黑色物质，水解

后产生脂酸、磷酸甘油与氨基乙醇或丝氨酸。脑磷脂不溶于丙酮及乙醇而溶于乙醚，故可与卵磷脂分开。在分子中的脂酸通常有 4 种，即软脂酸、硬脂酸、油酸及少量二十碳四烯酸。它存在于脑组织和神经组织中，心、肝及其他组织中也含有。

【类固醇】又称甾族化合物。环戊烷多氢菲衍生物的总称。一般具有重要的生理功能。在自然界分布很广，如胆固醇、麦角固醇、胆酸、维生素 D、雄性激素、雌性激素、肾上腺皮质激素、毛地黄素、皂素等均属此类。

【胆固醇】环戊烷多氢菲的衍生物。分子结构是在 C-17 位上连接一个含 8 个碳的枝链，C-3 位上有个羟基，第 C-5，C-6 位间有一双键。在动物机体中，胆固醇可转变为多种固醇类激素。也可转变为胆汁酸的盐类，促进脂肪的消化。在脑及神经组织中含量较高，其次为肾、脾、皮肤和肝。腺体组织中胆固醇的含量一般比骨骼肌高。中国一般人血清中胆固醇总量约 182.5mg%，外国人一般为 150mg—250mg%。其中约 1/4 为游离胆固醇。一部分血清胆固醇与蛋白质结合在一起。血清胆固醇含量过高，表示胆固醇代谢可能发生障碍。冠状动脉粥样硬化患者的血清胆固醇的含量常偏高。

【胆碱】卵磷脂、磷酸胆碱和乙酰胆碱的成分。碱性甚强，可与氢氧化钠相比。在生物界分布很广，具有重要的生物功能，它是甲基的供体。乙酰胆碱是一种神经递质，与神经兴奋的传导有密切关系。磷脂酰胆碱有控制动物机体代谢，防止脂肪肝形成的作用。

【胆酸】胆汁中存在的具有类固醇结构的有机酸。如胆酸、脱氧胆酸、鹅脱氧胆酸、熊脱氧胆酸和胆石酸等。实际上，胆汁中的胆汁酸是各种胆汁酸的羧基和甘氨酸、牛磺酸中的氨基，以肽键的形成结合而形成的酰胺类化合物，分别称为甘氨酸胆酸和牛磺胆酸。胆汁酸是苦味的来源。胆汁酸盐是一种乳化剂，能使肠内的油脂乳化，并能激活消化液中的脂肪酶，促进脂类物质的消化吸收。另外，鹅脱氧胆酸盐，能使胆固醇溶解。可用作治疗胆石症的口服药，同时也能抑制胆固醇的形成。

【胆色素】铁卟啉化合物在体内分解代谢的主要产物。正常时主要随胆汁排泄，因其具有颜色，故名。胆色素分解生成的胆红素，主要来源于衰老红细胞解体后的血红蛋白中的血红素。其次来源于其他含铁卟啉的化合物。正常人血清中胆红素的总量不超过 $1\text{mg}\%$ 。如果胆红素的浓度增高，就出现高胆红素血症。胆红素是金黄色色素，它在血浆内浓度过高，则扩散进入组织，将组织染黄，叫做黄疸。特别是巩膜或皮肤，易被染黄。

【鞘脂】又称鞘磷脂、鞘氨醇磷脂或神经磷脂。由鞘氨醇、脂肪酸与磷酸胆碱组成的分子，它是鞘磷脂类的典型代表，在高等动物的组织中含量为丰富。细胞内鞘磷脂的水解，是经过溶酶体中神经磷脂酶催化的。水解产物为神经酰胺和磷酸胆碱，可继续代谢。磷脂酶的先天性缺损便导致鞘磷脂在组织内堆积；可造成肝、脾肿大，严重者影响中枢神经系统，甚至危及生命。

【乙酰胆碱】胆碱的乙酰化形式，是神经系统中主要的神经传递介质之一。躯体的运动神经、副交感神经和交感神经的节前纤维，部

分交感神经的节后纤维和中枢神经系统中的某些神经细胞的末梢，在兴奋时放出微量的乙酰胆碱，使这些末梢所支配细胞兴奋或抑制，从而产生各种生物效应，使肌肉收缩、血管舒张，心跳减慢，瞳孔缩小，肠胃蠕动等。在生物体内，乙酰胆碱放出后，很快被胆碱酯酶水解成乙酸和胆碱。如果乙酰胆碱堆积，就会引起神经中毒症状。适量的乙酰胆碱对完成其传递介质的功能是很重要的。

【类胡萝卜素】在化学上与 β -胡萝卜素相类似的一类物质。主要来源于植物，特别是黄色、红色蔬菜中含量最多。其中最重要者为 β -胡萝卜素，它可在小肠粘膜的 β -胡萝卜素加氢酶作用下，生成两分子的视黄醇。从而变成维生素 A。因此，类胡萝卜素就是维生素 A 原。当机体缺乏维生素 A 时，会出现夜盲症和干眼病症状。可从含有维生素 A 原的植物性食品（如胡萝卜、绿色蔬菜及玉米）中得到补充。

蛋 白 质

【羧基端（C 端）】由多个氨基酸残基按一定顺序所组成的多肽链，通常在一端含有一个游离的 α -氨基，称为氨基端或 N-末端或 N-端，另一端含有一个游离的 α -羧基，称为羧基端或 C 末端或 C 端。肽的命名是根据参与其组成的氨基酸残基来确定的，规定从肽链的氨基末端氨基酸残基开始，称为某氨酰某氨基酸等。例如，具有下列化学结构的五肽，命名为丝氨酰甘氨酰酪氨酰丙氨酰亮氨

酸。Ser-Gly-Tyr-Ala-Leu。通常总是把氨基末端氨基酸残基放在左边，羧基末端氨基酸残基放在右边，特别指出者除外。上边举例的五肽，如果反过来书写，把亮氨酸写在左边，而把丝氨酸写在最右边，就变成另一个不同的五肽 Leu-Ala-Tyr-Gly-Ser。

【氨基端（N 端）】见“羧基端（C 端）”。

【氨基酸序列】多肽链中氨基酸残基的线性排列顺序。在蛋白质或多肽链中的氨基酸序列，是由遗传密码所决定的。

【氨基酸】含有氨基的有机酸，是组成蛋白质的基本单位。主要从蛋白质水解得到，少数来自化学合成或微生物发酵。氨基酸是白色晶体，它的熔点很高，一般在 200℃ 以上，溶于水成两性离子，即在氨基酸分子上带有正电荷的氨基和带有负电荷的羧基。从各种生物体中发现的氨基酸已有 180 多种，但是参与蛋白质组成的常见氨基酸或称基本氨基酸只有 20 种。而且都属于 L-型的 α -氨基酸（氨基连接在同羧基相邻的碳原子上）。包括甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、丝氨酸、苏氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、半胱氨酸、甲硫氨酸、脯氨酸、色氨酸、酪氨酸、丙苯氨酸、谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、赖氨酸和组氨酸。以上 20 种氨基酸，除甘氨酸以外都含有不对称碳原子，因此都具有旋光性。其中脯氨酸是 α -亚氨基酸。蛋白质的组成中，除了 20 种基本氨基酸外，从少数蛋白质中还分离出一些不常见的氨基酸，这些氨基酸都是由相应氨基酸衍生而来的。如 4-羟脯氨酸、5-羟赖氨酸、N-甲基赖氨酸、 γ -羧基谷氨酸等。

【必需氨基酸】一种氨基酸为机体正常生长和功能所需要；但又不能由机体合成，而必须从食物中获得。人体所必需的氨基酸有 8 种，即赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸。各种食物蛋白质因其所含的必需氨基酸，在种类上和数量上常不相同，故在营养价值上也高低各异。因此，必需氨基酸的有无和多少是决定一种食物蛋白质营养价值高低的主要因素。食物中的蛋白质所含的氨基酸成分比例越接近于人体蛋白质，越能被人体所利用，这种蛋白质的营养价值就越高。一般说来，动物蛋白质所含的必需氨基酸从组成和比例方面都比较合乎人体的需要，植物蛋白质则差一些，所以动物蛋白质的营养价值一般比植物蛋白质高些。

【非必需氨基酸】体内需要，但体内能自己合成的氨基酸。这类氨基酸不必由食物供给。在蛋白质中常见的 20 种氨基酸中，除了 8 种必需氨基酸，其余的 12 种都是非必需氨基酸。非必需氨基酸的供给对于必需氨基酸的需要量是有影响的。例如，体内的酪氨酸（非必需氨基酸）可由苯丙氨酸转变而成，半胱氨酸可由蛋氨酸转变而成。因此，当膳食中酪氨酸和半胱氨酸的含量丰富时，体内可以不必耗用苯丙氨酸和蛋氨酸转变成这两种非必需氨基酸。同时苯丙氨酸和蛋氨酸的需要量也会减少。所以将酪氨酸和半胱氨酸称为半必需氨基酸。

【5-羟赖氨酸】常见的赖氨酸衍生物。在赖氨酸的第五个碳上含有一个羟基。当 Lys 经翻译后，在赖氨酸羟化酶的作用下，使赖氨酸第 5 位碳羟基化。5-羟赖氨酸存在于胶原蛋白分子中。

【6-N-甲基赖氨酸】一种赖氨酸的衍生物。存在于肌球蛋白中。除6-N-甲基赖氨酸外,在肌球蛋白中还有6-N-三甲基赖氨酸和3-甲基组氨酸。

【谷氨酸】一种酸性氨基酸,大量存在于植物蛋白质中。首先在凝血酶原中发现,同时也存在于其他蛋白质中。在蛋白质氨基酸代谢过程中占重要地位。人们所食用的味精就是谷氨酸的单钠盐。

【鸟氨酸】一种非蛋白质氨基酸,是尿素循环的中间体。尿素的合成是一个复杂的过程。可以分成三个阶段:(1)鸟氨酸与 NH_3 及 CO_2 作用合成瓜氨酸;(2)瓜氨酸转变为精氨酸;(3)精氨酸水解生成尿素和鸟氨酸。在这一过程中的鸟氨酸、瓜氨酸、精氨酸只是合成尿素的氮源和碳源的载体。从鸟氨酸开始到鸟氨酸形成一个循环。因而尿素合成的循环过程,又称为鸟氨酸循环过程。

【瓜氨酸】一种非蛋白质氨基酸,尿素循环的中间体。

【 α -螺旋】多肽链主链,围绕中心轴盘绕,形成具有周期性规律的螺旋状空间结构。蛋白质多肽链主链构象的结构单元之一。

【 β -片层】又称 β -折叠或 β -折叠结构。是蛋白质常见的第二种二级结构。有两种类型:一种是平行的 β -片层,即肽链的N-末端都在同一端;另一种是反平行的 β -片层,即肽链的N-末端一顺一反的排列着。在纤维轴上的重复周期为7.0埃($\text{\AA}$), β -片层除作为某些纤维状蛋白质的基本构象之外,也普遍存在于球状蛋白质中。

【肽】一个氨基酸分子的氨基与另一个氨基酸分子的羧基缩合失去一个分子水后形成的化合物。最简单的肽是由两个氨基酸分子组成，称二肽，由 3 个氨基酸分子组成的肽称三肽，余类推。由 2—10 个氨基酸分子形成的直链肽称寡肽。10 个以上氨基酸分子形成的肽，称多肽。在多肽链中的氨基酸称为氨基酸残基。某些激素、毒素和抗生素本身就是多肽。肽类物质在生物体内普遍存在，且具有重要的生物功能。蛋白质分子和酶蛋白就是由肽链组成的，而且具有特定的三维构象。

【肽键】一个氨基酸分子的 α -氨基与另一个氨基酸分子中的 α -羧基失水缩合而形成的酰胺键。

【神经多肽】丘脑下部的某些神经细胞除具有神经细胞的作用外，还有分泌肽类激素的作用。这些激素因为由神经细胞分泌的，所以称为神经激素。如果这些激素是肽类物质，就称为神经多肽。下丘脑的分泌细胞直接受中枢神经的调节，这就使神经系统和内分泌系统形成一个整体，以调节机体的正常活动。

【脑啡肽】具有类吗啡作用的活性肽。有蛋氨酸脑啡肽和亮氨酸脑啡肽两种，是由 5 个氨基酸组成的肽。蛋氨酸脑啡肽氨基酸排列顺序为：酪-甘-甘-苯丙-蛋。亮氨酸脑啡肽氨基酸排列顺序为：酪-甘-甘-苯丙-亮。只有第五个氨基酸不同，其余完全一样。它们的生物功能，是具有强烈的镇痛作用。

【内啡肽】由 β -促脂素 (β -LPH) 降解而得到的肽类物质。有 α -内啡肽、 β -内啡肽和 γ -内啡肽 3 种。这类肽有类吗啡作用的活性，具

有强烈的镇痛功能。如向脑内注射内啡肽，可使实验动物发生显著反应：引起全身失去痛觉，长达数小时之久。在这段时间内，体温下降、四肢僵硬。并向外呈牵张姿势。几小时后内啡肽的效应消失，动物又表现出正常的行为。

【激肽】一种组织分泌的碱性肽类激素。如舒缓激肽是由血浆中某些甲种球蛋白，在特殊的蛋白水解酶的作用下，降解而释放出来的九肽。其氨基酸顺序为：精-脯-脯-甘-苯丙-丝-脯-苯丙-精。具有刺激平滑肌收缩、血管扩张、血压降低、膜通透性增加，以及引起痛感等作用。

【谷胱甘肽】由谷氨酸、半胱氨酸与甘氨酸组成的三肽。又称 γ -谷氨酰半胱氨酰甘氨酸。由于谷胱甘肽中含有巯基，因此它有还原型和氧化型两种形式。还原型谷胱甘肽（GSH）和谷胱甘肽是同义词。氧化型谷胱甘肽（GSSG）是两个分子的谷胱甘肽通过氧化以二硫键相连接的二聚体。在动植物细胞中分布很广，是某些酶的辅酶，在生物氧化中可以传递电子，在细胞中作为巯基缓冲剂。其功能是保护酶和蛋白质的巯基免遭氧化，维持半胱氨酸残基处于还原状态。此外，在氨基酸转运，清除体内有害的氧化剂，维持血红蛋白中血红素的铁原子的二价（ Fe^{2+} ）还原态，都起着重要作用。

【蛋白质】由多种氨基酸以肽键结合而形成的生物大分子化合物。生物体的主要组成物质之一。蛋白质是生命活动的物质基础，如具有催化作用的酶、免疫功能的抗体、运输作用的血浆蛋白、运动功能的肌肉蛋白、生物膜结构蛋白、某些激素、毒素等都是蛋

白质。各种蛋白质中氨基酸的组成、排列顺序和肽链的空间结构都不相同。目前已有上千种蛋白质的氨基酸序列和立体结构已完全搞清楚。从而，对于一些由蛋白质的结构变化而引起的分子病（镰刀形红细胞贫血症、胰岛素分子病）、一级结构与进化的关系、结构与功能的关系等都被揭示出来，为蛋白质工程、基因工程提供了理论依据。1965年，中国首先人工合成胰岛素之后，对其他蛋白质的人工合成也获得了初步结果。这标志着人类在研究生命起源的历程中迈进了一大步。蛋白质按分子形状可分为纤维状蛋白和球蛋白；按溶解度可分为白蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和不溶的硬蛋白；按组成可分为简单蛋白和复合蛋白。简单蛋白除氨基酸外，不含其他物质。复合蛋白由简单蛋白与其他物质结合而成，由于所含其他物质的不同可分为磷蛋白、糖蛋白、脂蛋白、色蛋白、核蛋白等。按功能可将蛋白分为活性蛋白质和非活性蛋白质。活性蛋白质如酶、激素蛋白、运输和贮存蛋白质、运动蛋白、御防蛋白、受体蛋白、毒蛋白、膜蛋白等。这些蛋白质在生命运动过程中都具有生物活性。非活性蛋白质，主要有胶原、角蛋白、弹性蛋白、丝心蛋白、硬蛋白等。这类蛋白质在生物体内担任支持和保护作用，一般都不具有生物活性。蛋白质是食物营养的重要成分，含有全部必需氨基酸的蛋白质，称为“完全蛋白质”，如酪蛋白、卵白蛋白、大豆蛋白等，这些蛋白营养价值高；组成中缺少一种或几种必需氨基酸的，称为“不完全蛋白”，如白明胶，用它做唯一的蛋白质食物会引起营养缺乏症。蛋白质除具有生物功能外，由它组成的毛、发、角、筋、皮等，还是重要的轻工业原料。

【血红蛋白】一种寡聚蛋白质，由 4 个亚基组成。成人的红细胞中

含有两种血红蛋白(Hb)。一种是HbA₁占血红蛋白总量的96%以上;另一种是HbA₂,占血红蛋白总量的2%左右。胎儿的红细胞中含有另外一种血红蛋白,称HbF。三种血红蛋白分子中都有两个共同的 α -亚基(含141个氨基酸残基)。 β 、 δ 和 γ 亚基的氨基酸顺序也十分相似,都由146个氨基酸残基组成。 α 、 β 、 δ 、 γ 等亚基的空间结构非常相似,都是由八段 α -螺旋构成。每个亚基中含有一个血红素。血红蛋白是血液中运输氧和二氧化碳的主要载体。在肺部血红蛋白结合大量的氧气,随血液循环运送到全身,同时把机体代谢产生的二氧化碳,由血红蛋白带到肺部,呼出体外。血液中有血红蛋白存在时,每升能运输250ml的氧,如果没有它只能输送5ml的氧。

【肌红蛋白】哺乳动物肌肉中储氧的蛋白。由一条肽链和一个血红素组成,分子量为16700,含有153个氨基酸残基。分子呈扁平盘状,血红素位于扁平园盘的空穴中,分子的多肽链主链由长短不等的8段 α -螺旋组成。即A、B、C、D、E、F、G、H。最长的螺旋,含有23个氨基酸残基,最短的7个残基,分子中80%的氨基酸残基都处在 α -螺旋区内。非螺旋区肽段称为NA、AB、BC、……FG、GH、HC等。氨基酸残基的侧链(R)基团,属于极性的都分布在球状分子的表面,而非极性的都处在分子的内部。肌红蛋白存在于哺乳动物的肌肉中,特别是潜水哺乳类动物,如鲸、海豹和海豚的肌肉中含量极为丰富,以致使它们的肌肉呈棕色。

【血浆蛋白】存在于血浆中的一组蛋白质。血液除去血细胞和血小板的液体,称为血浆。其中含有的蛋白质组成复杂。主要有白蛋白、球蛋白和纤维蛋白原,对维持血液的正常渗透压、粘度和酸

碱度，具有重要作用。球蛋白有甲种 (α) 球蛋白、乙种 (β) 球蛋白和丙种 (γ) 球蛋白三种。体内各种具有免疫功能的抗体，大多是丙种球蛋白，少量存在于乙种球蛋白中。纤维蛋白原和纤溶酶原在血液凝固和血栓溶解等过程中，起着自我调节和保护作用。

【血清蛋白】存在于血清中的蛋白质。血液凝固后析出的清液，称血清。其中含有的蛋白质，称为血清蛋白。它与血浆蛋白不同之处，不含有纤维蛋白原。对免疫和维持血液的渗透压、粘度和酸碱度，具有重要作用。

【肌肉收缩蛋白】参与肌肉收缩活动的一组蛋白质。在肌肉中形成纤维状或丝状结构。其中包括肌球蛋白和肌动蛋白。肌球蛋白是一种很长的棒状分子，有两条彼此缠绕的 α -螺旋肽链的尾巴和一个复杂的头。其头部具有 ATP 酶的活性。肌球蛋白在肌肉中形成粗丝。肌动蛋白以两种形式存在，即球状肌动蛋白和纤维状肌动蛋白。纤维状肌动蛋白是由球状肌动蛋白缔合而成的。两条纤维状蛋白形成双股绳索结构，在肌肉中形成细丝。粗丝和细丝在某些其他肌肉蛋白质，如原肌球蛋白、肌钙蛋白和 Ca^{2+} 的存在下，细丝沿粗丝进行滑动，使肌肉收缩。

【组蛋白】一类碱性球状的单纯蛋白质。其中精氨酸和赖氨酸的含量很高。根据精氨酸和赖氨酸的含量可把它们分为 5 类，分别以 H_1 、 H_2b 、 H_2a 、 H_3 、 H_4 表示。组蛋白在细胞核中与脱氧核糖核酸紧密结合形成核小体，进而形成染色质和染色体。组蛋白能维持 DNA 特定的立体结构，并影响其遗传信息的传递。

【非组蛋白】除了组蛋白以外的染色体的酸性蛋白质。与 DNA 特定的节段结合，对基因起阻遏作用，可能相当于“阻抑蛋白”，在真核细胞中参与基因转录的调节。

【钙调素】调节钙、磷代谢的激素。主要有甲状旁腺激素、降钙素以及 1, 25-二羟维生素 D₃。甲状旁腺激素，是由甲状旁腺所分泌的一种多肽激素，具有促进骨质溶解、减少小肠和肾脏对钙的吸收，升高血钙的功能。当甲状旁腺机能衰退时血钙含量降低，如果降低至 7mg% 以下时（正常人血钙为 9—11mg%），患者的神经兴奋性增高，引起肌肉痉挛，四肢抽搐，手足强直，不能伸屈。注射钙盐可以缓解。如果注射甲状旁腺激素，即恢复正常。相反，如果甲状旁腺机能亢进，则引起骨骼过分失钙，导致骨质疏松或发生脱钙性骨炎。甲状旁腺激素的分泌受血钙浓度的调节。血钙浓度低时，刺激其分泌，血钙浓度高时，抑制其分泌。两者互相制约。降钙素是甲状旁腺分泌的另一种多肽激素，其功能是降低血钙。同样受钙离子浓度的调节。这两个激素是一对作用相反的激素。它们都作用于骨基质和肾脏，共同调节钙、磷的代谢，使血液中的钙、磷浓度相对稳定。1, 25-二羟维生素 D₃，又称 1, 25-二羟胆钙化（甾）醇，也是一种激素，由肾脏所分泌。它是由 25-羟维生素 D₃ 在甲状旁腺激素的作用下转变而成。它能促进小肠对钙离子的吸收。另外钙调蛋白，也参与钙离子的代谢调节作用。

【微管蛋白】一种丝状蛋白质。微管由 13 条蛋白质细丝沿中空的管平行排列而成。每条细丝由两种球状蛋白质（ α -微管蛋白和 β -微管蛋白）交替组成。微管在真核生物的纤毛和鞭毛中存在，微管彼此滑动和扭动，使纤毛或鞭毛产生特有的螺旋式转动或鞭打式

的推进运动。可见，微管蛋白对于那些带有鞭毛和纤毛的真核细胞和单细胞动、植物的运动，是至关重要的。微管在细胞中具有多方面的功用。如细胞形态的保持和改变；细胞分裂时纺锤体的形成、染色体的分裂和移动；细胞内某些物质的运输，神经递质的传递等。

【免疫球蛋白】一种来自动物，且具有抗体活性或化学结构上与抗体相似，具有免疫学意义的蛋白质。它存在于血清中，简称 Ig。因为电泳时它出现在 γ 区内，所以又称为 γ -球蛋白（或丙种球蛋白），有人也称之为抗体。现在已知免疫球蛋白至少有 5 种，即 IgG、IgA、IgM、IgD 和 IgE。有的还有亚类。前三种与抗体免疫有关，IgE 与变态反应有关，IgD 在免疫系统中的作用尚不清楚。免疫球蛋白的结构大体类似，都是由两条重链（H 链）和两条轻链（L 链），肽链间由二硫键相连。每一条链都分两个区，即变区和恒区。轻链 N-末端的 $1/2$ 为变区，其余 $1/2$ 为恒区。重链 N-末端的 $1/4$ 为变区，其余 $3/4$ 为恒区。轻链的变区与重链的变区组成抗原结合部位。在重链的第二恒区有补体结合部位。因为重链有一个变区，三个恒区，所以免疫球蛋白具有捕捉抗原、激活补体的功能，在免疫系统中起着重要的作用。

【补体系统】人和动物血浆中的一类球状蛋白质。它不是免疫球蛋白，但能协助抗体杀伤抗原和病菌，参与免疫反应。补体同抗原-抗体复合物反应，导致细胞的解体，促进吞噬细胞对细菌和病毒的吞噬作用。补体系统存在一系列的补体，一般认为共有 11 种补体，分别用下列符号代表，即 C_{1q} 、 C_{1r} 、 C_{1s} 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 、 C_9 。补体在正常的血浆中没有活性，只有经过抗体的激活，

并形成攻膜复合体之后，才能有效地杀伤带有抗原的细胞。在激活过程中要有 Ca^{2+} 的参加。

【胶原】 又称胶原蛋白。一种纤维状蛋白质。存在于高等动物的结缔组织中，如皮肤、软骨、筋腱、韧带等。属于结构蛋白质，具有较高的机械强度和成胶的特性。胶原蛋白在体内以胶原纤维的形式存在，其组成单位是原胶原蛋白分子，长度为 280 纳米 (nm)，直径为 1.5 纳米，分子量约 300000。原胶原分子由三条肽链组成左手螺旋。每条肽链中含有特殊的氨基酸，其中甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸约占氨基酸残基的 2/3。胶原是鞣革、制胶和提取白明胶的原料。在人体中，胶原是创伤复原过程中的重要物质。肝硬化、关节炎、矽肺等病变能引起有关部位胶原的增生和破坏。

【明胶】 又称白明胶。呈白色或淡黄色的薄片或颗粒，是半透明，在热水中易溶解的有机化合物。由胶原在水中煮沸或通过酸碱作用降解而制得。是一种可溶性的多肽混合物。存在于动物的皮、骨中。工业上用做粘合剂，也可用于照相感光材料的制造。医药上用做止血剂，也用于食品工业。

【毒素】 某些有机体产生的有毒物质。例如蓖麻种子中含的毒素、毒蛇的毒腺中所含的蛇毒等。有些毒素的毒性很强烈，能造成死亡。但将适量的毒素注射到动物体内，能产生抗毒素。含有抗毒素的动物血清有治疗作用。毒素分为内毒素和外毒素两种。内毒素是革兰氏阴性细菌，特别是致病菌所合成的一种毒性物质。是细菌细胞物质的一部分，主要为多糖、类脂和蛋白质的复合物，当细菌死亡和裂解后才能释放出来。其毒性较外毒素为弱，对组织

细胞有损害作用，并能引起机体中毒症状，如发烧、休克或血管内凝血等；外毒素是少数致病菌所产生的一种代谢产物，主要成分为蛋白质。在产生过程中从菌体内扩散到菌体外，毒性强，对个别组织器官有亲和力，能引起特殊的病变。外毒素不稳定，可被热、光及化学药品所破坏。

【球状蛋白质】一类蛋白质，其多肽链所盘绕的立体结构为不同程度的球状分子。多肽链是通过链内的次级键，如氢键、盐键、二硫键、疏水作用和范德华力来维系其空间结构的。球状蛋白质有多种多样的生物功能。它不溶于水，而溶于稀的中性盐溶液中。如中性盐浓度过高，即从溶液中析出。这种现象称为盐析。加热也能使之沉淀或凝固。血清球蛋白、乳球蛋白等均属球状蛋白质。

【纤维状蛋白质】一类具有纤维形状的蛋白质。其中肽链朝长度方向延伸或螺旋盘绕。在这种蛋白质中，肽链内部和肽链间主要靠氢键维系在一起，并形成薄片或纤维状。纤维状蛋白质主要起结构蛋白质的作用。它们主要存在于动物的肌肉和血液中。如肌原纤维的肌球蛋白和肌动蛋白，血液中的血纤维蛋白原和血纤维蛋白等。还有蚕丝、蜘蛛丝、羊毛、头发等也是纤维状蛋白质。

【寡聚蛋白质】由两个以上亚基所组成的蛋白质分子。这样的聚集体称为蛋白质的四级结构。亚基之间通过非共价键彼此缔合在一起。大多数寡聚蛋白质分子中，所含亚基数为偶数，个别的为奇数。例如，促黄体生成激素由两个亚基（ α 、 β ）组成；促甲状腺素由两个亚基（ α 、 β ）组成；血红蛋白由 4 个亚基（ $\alpha_2\beta_2$ ）组成；神经生长因子由 3 个亚基（ α 、 β 、 γ ）组成。蛋白质分子是一个完整

独立的功能单位。例如，含有 4 个亚基的血红蛋白分子具有输送氧气的功能，而任一亚基都不具有这种功能。

【亚基】以三级结构的球状蛋白质的聚集体形式存在并形成蛋白质的四级结构。其中每个球状蛋白质称为一个亚基或亚单位，是蛋白质的最小共价单位。亚基一般只有一条多肽链，但有的亚基由两条或多条肽链组成，这些多肽链间以二硫键相连。亚基一般不具有生物功能，形成四级结构的蛋白质分子（功能单位）才具备生物功能。

【复合蛋白质】又称结合蛋白质。由简单蛋白质与其他物质结合而成的蛋白质。磷蛋白：为蛋白质与磷酸结合而成，如酪蛋白、卵黄蛋白等。糖蛋白：为蛋白质与糖类结合而成，如唾液中的粘蛋白、硫酸软骨素蛋白和细胞膜的糖蛋白等。脂蛋白：为蛋白质与脂类结合而成，如 α 或 β -脂蛋白和细胞膜上的脂蛋白等。核蛋白：为蛋白质与核酸结合而成，如病毒核蛋白和染色体蛋白等。色蛋白：为蛋白质与色素物质结合而成，如血红蛋白、叶绿蛋白，黄素蛋白、细胞色素等。金属蛋白：为蛋白质与金属离子结合而成，如铁蛋白、铜蓝蛋白等。

【白蛋白】又称清蛋白。一种水溶性的，球形的简单蛋白质。溶于稀盐、稀酸或稀碱溶液中，为饱和硫酸铵所沉淀。广泛存在于生物体内，如血清清蛋白、乳清蛋白、卵清蛋白、豆蛋白等。

【球蛋白】一类球状的单纯蛋白质。可分为不溶于水而溶于稀盐溶液的优球蛋白和溶于水的拟球蛋白。球蛋白都可被半饱和硫酸铵

溶液所沉淀。普遍存在于生物体内，如血清球蛋白、乳球蛋白和植物种子球蛋白等。

【糖蛋白】由蛋白质和糖类结合而成的一种复合蛋白质。自然界分布很广，一切动植物组织、体液都含有糖蛋白。如神经组织、各种结缔组织、血浆、血细胞、唾液、胃肠液、关节液、眼球水晶体液、眼角膜、视网膜和生物膜中，都含有糖蛋白。促性腺激素、凝血酶、核糖核酸酶、粘蛋白、免疫球蛋白等都是糖蛋白。其中所含糖链多为长链氨基多糖。糖与蛋白质之间比例，如以蛋白质为主结成的糖与蛋白质的复合物，称为糖蛋白，其总体性质更接近于蛋白质，其中糖含量变化很大，如免疫球蛋白（IgG）的糖含量仅占 4%，人红细胞膜糖蛋白和血型糖蛋白含糖量为 60%，而人胃糖蛋白含糖量竟高达 82%。与糖蛋白相比，蛋白多糖的含糖量多数超过 95%。因为蛋白多糖以糖为主，所以蛋白多糖主要表现糖的性质。

【蛋白多糖】见“糖蛋白”。

酶

【酶】又称酵素。生物体产生的具有催化能力的蛋白质，因此又称生物催化剂。这种催化能力称为酶的活性。生物体内的化学变化几乎都在酶的催化作用下进行。酶的作用具有高度专一性，酶的催化效率很高，有时一个酶分子在一分钟内能催化数百至数百万

底物分子转化。酶的作用一般在常温、常压、近中性水溶液中进行，高温、强酸、强碱和某些金属离子等会使酶失去活性。酶通常根据其底物或其作用性质命名。例如淀粉酶作用于淀粉，可将淀粉降解成单糖。凝乳酶引起乳的凝固。葡萄糖氧化酶催化葡萄糖氧化。过氧化氢酶可促进过氧化氢分解成水和氧等。根据其催化作用的性质，酶可分为氧化还原酶、移换酶、水解酶、裂合酶、异构酶、合成酶等 6 大类。酶的研究，对于生命现象本质的了解，疾病的诊断和治疗以及工农业生产，都有重大意义。酶制剂在纺织、皮革、食品、医药以及化妆品工业中都得到日益广泛的应用。

【酶原】酶的前体。酶原没有活性，要使酶原转变成具有活性的酶，必须经历一个激活的过程，才表现出催化活力，例如胃蛋白酶原、胰蛋白酶原、胰凝乳蛋白酶原，转变成相应的胃蛋白酶、胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶都要通过激活过程。在这过程中，往往伴随着酶蛋白一级结构的变化，即肽链的断裂或肽段的丢失。如胰凝乳蛋白酶原是由 245 个氨基酸残基组成的一条多肽链，含有 5 对二硫键，无活性。当它受到胰蛋白酶作用后，Arg₁₅与 Ile₁₆之间的肽链断裂，才具有酶活性。这种酶称为 π -胰凝乳蛋白酶。它有两条肽链，活性最高，但很不稳定。它可以被其他 π -胰凝乳蛋白酶作用后，失去两个二肽 (Ser₁₄-Arg₁₅及 Thr₁₄₇-Asn₁₄₈)，而形成酶的稳定式，这种酶称为 α -胰凝乳蛋白酶，含有三条肽链，241 个氨基酸残基，肽链之间由二硫链相连。其活性不如 π -胰凝乳蛋白酶高，其活性只有 π -胰凝乳蛋白酶的 40%。

【底物】酶催化作用中的反应物。同酶有一定的专一关系。如蛋白酶的底物是蛋白质，过氧化氢酶的底物是过氧化氢，脂肪酶的底

物是脂肪，脲酶的底物是尿素。底物经酶的作用发生变化，如尿素经脲酶作用产生二氧化碳和氨。过氧化氢在过氧化氢酶的催化下，生成水和氧。

【辅酶】某些结合蛋白酶的非蛋白质有机化合物。辅酶与酶蛋白组成全酶。是酶催化作用中不可缺少的一部分，通常与酶蛋白结合的并不紧密，容易分开，但是分开后的酶蛋白和辅酶均无催化作用。许多辅酶是维生素的衍生物。辅酶相同而酶蛋白不同的几种酶，能催化同样的化学反应，但各作用于不同的底物。例如乳酸脱氢酶与苹果酸脱氢酶有相同的辅酶（NAD），可是酶蛋白不同，它们都能催化脱氢，只是乳酸脱氢酶的底物是乳酸，而苹果酸脱氢酶的底物是苹果酸。

【辅基】酶的辅因子或结合蛋白质的非蛋白部分。与酶或蛋白质结合得非常牢固，用透析法不能除去。

【辅酶 I】缩写为 NAD^+ 或 DPN^+ 。是 B 族维生素尼克酰胺参与组成的尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸。作为一些脱氢酶的辅酶，传递底物中脱下的氢原子。当辅酶接受氢原子后，变成还原型辅酶 I，其缩写为 NADH 或 DPNH 。

【辅酶 II】缩写为 NADP^+ 或 TPN^+ 。含有尼克酸的一种辅酶。全称为尼克酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸。是脱氢酶的辅酶。当辅酶接受氢原子后，变成还原型辅酶 II，可缩写为 NADPH 或 TPNH 。

【辅酶 A】简写为 CoA 或 CoASH 。由 B 族维生素泛酸参与组成的

一种辅酶，借分子中的巯基与乙酸或其他有机酸的酰基结合，成为一种乙酰基或另一些酰基的载体，参与酰基的各种合成和分解代谢，是酰基代谢中重要的辅酶。在乙酰化作用中，辅酶 A 与乙酰基结合变成乙酰辅酶 A。乙酰辅酶 A 与脂肪代谢和糖代谢都有密切关系。因为丙酮酸、乙酸、脂肪酸、乙醛等经过一系列的变化形成乙酰辅酶 A。这说明乙酰辅酶 A 是这些物质代谢的“终点”。

【辅酶 Q】简写 CoQ，一组苯醌衍生物。因其结构中，类异戊二烯侧链的长度不同，可形成不同的辅酶 Q。辅酶 Q 可被还原成氢醌，其自身可形成氧化还原体系，作为电子的载体，可在电子传递系统中起重要作用。参加线粒体呼吸链从有机底物上将电子传递给氧的过程。

【氧化还原酶】促进氧化还原反应的一类酶的总称。其中氧化酶催化底物被分子氧所氧化，而脱氢酶则催化从底物分子上脱去氢的作用。如乳酸脱氢酶、黄嘌呤氧化酶等均属此类。

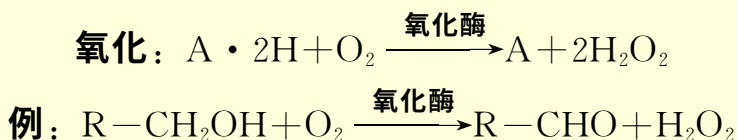
【转移酶】又称移换酶。催化两分子之间的某些基团转换作用一类酶的总称。如尼克酰胺转甲基酶，催化甲基的转移，转氨酶催化氨基的转移等。供给和接受所转移基团的底物，分别称为供体和受体。

【水解酶】催化水解作用酶的总称。这类酶包括淀粉酶、核酸酶、蛋白酶、脂酶等。例如酯酶、肽酶、胰酶、胃酶等均属此类。

【裂解酶】又称裂合酶。催化底物失去或加上某一部分的反应。这类酶包括脱氨酶、脱羧酶、醛缩酶、水化酶等。

【变构酶】具有变构效应的酶。所谓变构效应即生物体内，某些具有四级结构的蛋白质分子，在不同生理条件下行使生物功能时，与一些小分子结合，使其结构改变，因而改变其生理活性的现象。变构酶一般处于代谢途径的关键位置上，对代谢具有调节的功能。因此又称调节酶。其活力受变构物的影响和控制。1, 6-二磷酸果糖激酶就是一种变构酶，对酵解起着调节控制的作用。变构酶具有两个或更多的相互催化的催化部位，或是互相作用的催化部位与调节部位。这种互相作用的结果，常使酶显示 S 形而不是双曲线的动力学。酶属于变构蛋白质。

【氧化酶】氧化还原酶的一种。氧化酶催化底物被分子氧所氧化。典型反应为：



【脱氢酶】氧化还原酶的一类。脱氢酶的作用是从底物分子上脱去氢。典型反应如下：



【同工酶】具有不同的蛋白质组成而催化同一种反应的酶。例如乳酸脱氢酶为四聚体。由 M（骨骼肌型）及 H（心肌型）两种多肽

链所组成。有 M_4 、 M_3H 、 M_2H_2 、 MH_3 和 H_4 等 5 种分子形式的同工酶，在电泳中显示 5 个区带，但催化性质只有一种，即脱氢。很多酶都有同工酶，它们普遍存在于动植物的组织中。异柠檬酸脱氢酶、苹果酸脱氢酶、RNA 酶等都有同工酶。在临床上应用同工酶作为诊断指标：例如冠心病及心肌梗塞病患者，因心肌受损，血清中乳酸脱氢酶同工酶 H_4 及 MH_3 含量增高；而肝细胞受损患者的血清中则乳酸脱氢酶同工酶 M_4 增高。当某种组织发生病变时，就有某种特殊的同工酶释放出来，对病人及正常人同工酶电泳图谱进行比较，有助于疾病的诊断。

【固相酶】通过物理或化学方法处理，使酶分子与大分子载体相结合的酶。固相酶的制备方法，可分为 4 类：（1）吸附法，使酶被吸附在惰性固体的表面或吸附在离子交换剂上；（2）交联法，使酶分子间通过双功能基团试剂交联聚合成网状结构；（3）偶联法，使酶通过共价键连接在不溶于水的载体上；（4）包埋法，使酶分子包埋在凝胶中或聚合物的半透膜小囊中。固相酶的优点是：（1）使用方便，利用离心法或过滤法易于将酶与反应液分开；（2）可以反复使用，在某些情况下，可以使用上千次，大大节约成本；（3）稳定性能好，对酸、碱、温度的稳定性增高。提高了酶的使用率。固相酶的发现和应用在生物化学、微生物学、医学、化学工程等领域有着重要的意义，如模拟生物体内的多酶体系，将完成某一组反应的多种酶和辅助因子固定化，可以制成特定的反应器。

【蛋白酶】催化蛋白质水解酶的总称。种类很多，分布极广。如胰蛋白酶、胃蛋白酶、胰凝乳蛋白酶、木瓜蛋白酶、嗜热菌蛋白酶、

菠萝蛋白酶等。一种蛋白酶只能水解蛋白质中一定的肽键。有些蛋白酶专一性较差，有些蛋白酶专一性很强。专门水解某种氨基酸的羧基肽键。如胰蛋白酶专门水解赖氨酸和精氨酸的羧基所形成的肽键。有些蛋白酶在蛋白质一级结构的测定中，起着重要的作用。

【蛋白激酶】一类能催化蛋白质产生磷酸化反应的酶。在反应过程中必须有 cAMP 参加。蛋白激酶被 cAMP 激活，然后去激活磷酸化酶激酶。所以蛋白激酶是 cAMP 与磷酸化酶系统中一个关键的酶。它是一个别构酶。蛋白激酶不仅能使磷酸化酶激酶产生磷酸化作用，还可使许多蛋白质（组蛋白、核糖体蛋白、脂肪细胞的膜蛋白、线粒体的膜蛋白、微粒体蛋白及溶酶体等）产生磷酸化作用。

【组织蛋白酶】动物组织中，各种蛋白质水解酶的总称。在动物的脏器中活力较高，组织的自溶或体内蛋白质的分解，主要由于这类酶的作用。

【细胞色素】一类含有铁卟啉辅基的复合蛋白质。在生物体内以传递电子为主要生物功能的色蛋白。传递电子是借助于血红素中铁价的可逆变化，在生物氧化体系（呼吸链）中，起重要作用。细胞色素在生物界分布极广，种类很多。目前已知的至少有细胞色素 a、a₃、b、c、c₁5 种。细胞色素的辅基部分是铁卟啉，但是不同细胞色素的辅基也有差别，可由它们的吸收光谱得到证实。

【凝血酶】一种蛋白水解酶。能使血纤维蛋白原变成血纤维蛋白，

是血液凝固的重要因素。凝血酶以酶原的形式存在于动物的血液中。当组织损伤时，释放出凝血致活酶，把凝血酶原变成凝血酶。进而促使溶解的血纤维蛋白原变成不溶解的血纤维蛋白的血凝块，封住伤口，阻止血液继续流出。这是人与动物自我保护的一种机能。

【凝血因子】血浆中各种参与血液凝固的物质。已知的有血纤维蛋白原（因子Ⅰ）、凝血酶原（因子Ⅱ）、凝血致活酶（因子Ⅲ）、钙离子（因子Ⅳ）以及血浆中的因子Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹ、Ⅺ、Ⅻ、ⅩⅢ等。这些因子的共同协作，导致不溶性的血纤维蛋白多聚体形成网状结构，同红细胞、白细胞、血小板和血浆共同形成血凝块。从而封闭伤口，阻止血液流出。

【淀粉酶】水解淀粉和糖原成糊精和麦芽糖的酶，是多糖酶的一种。淀粉酶有两种， α -淀粉酶和 β -淀粉酶。 α -淀粉酶主要存在于动物的唾液中，又称唾液淀粉酶。 β -淀粉酶主要存在于植物种子和块根内。它们都能水解淀粉和糖原的 α -1, 4糖苷键。但是， α -淀粉酶可催化淀粉及糖原分子中任何一个部位的 α -1, 4糖苷键断裂，而 β -淀粉酶则只能催化从淀粉或糖原分子的非还原性的一端开始断裂，变成麦芽糖单位。 α -和 β -淀粉酶对 α -1, 6糖苷键均无作用。水解 α -1, 6糖苷键的酶，称为低聚糖- α -1, 6葡萄糖苷键酶。存在于小肠液中。 α -淀粉酶水解淀粉变成糊精、麦芽糖。 β -淀粉酶水解淀粉，主要变成麦芽糖。淀粉酶水解淀粉的产物为糊精和麦芽糖的混合物。淀粉酶在食品工业和纺织工业上都有广泛的用途。

【果胶酶】一种催化果胶降解的酶。与纤维素酶相类似的一类复合

酶，包含多种组分，酶的来源不同，其种类和组分也不同。酶的性质稍有差异。如臭曲霉、白腐盾壳霉、黑曲霉都可提取果胶酶。这类酶在生产上的应用已有几十年的历史。特别在食品加工工业上，应用十分广泛。如果汁加工、果汁澄清、桔子脱囊衣、葡萄酒生产、麻料脱胶、木材防腐等。

【溶菌酶】能溶解某些细菌（主要溶解细菌的细胞壁）的一种糖酶。由 129 个氨基酸残基所组成的单肽链蛋白质，含有 4 对二硫键。一般存在于动植物的组织液中和某些微生物体内。如鼻粘膜、眼泪、唾液、卵蛋白、枯草杆菌培养物和某些蔬菜中。溶菌酶是从动物组织中所获得的一种抗菌素。医药上常用作抗菌剂。溶菌酶能使菌体细胞膜的多糖物质分解，促使菌体的破坏和死亡。

【脂肪酶】水解脂肪为脂肪酸和甘油的一种酯酶。它在生物体内的油脂分解代谢中，起重要作用。在生物体内不同组织中（如胰液、血浆及脂肪等），都含有作用性质不同的脂肪酶。

【磷酸酯酶】水解磷酸酯类的酶。种类很多，分布极广。存在于整个生物界。为了便于研究可根据不同情况加以分类。根据作用时所需溶液的酸碱度不同，可以分为酸性磷酸酯酶和碱性磷酸酯酶两大类。根据其作用的底物不同，又可分为磷酸单酯酶和磷酸二酯酶两类。血浆中磷酸酯酶的测定，常用于某些疾病的临床诊断。

【胆碱酯酶】分解胆碱与酸构成酯的一类酶的总称。在它的作用下，酯将变成胆碱和有机酸。其中胆碱磷酸酯酶，水解卵磷脂，释放出胆碱和磷脂酸。乙酰胆碱酯酶，分解乙酰胆碱为胆碱和乙酸。乙

酰胆碱酯酶，在动物的神经组织中含量很丰富，它与神经冲动的正常传递有密切关系。一旦胆碱酯酶的活性被抑制，造成乙酰胆碱大量堆积，常会产生肌肉或肠胃痉挛的中毒症状。临床上常用阿托品类药物治疗，它能与乙酰胆碱竞争受体，阻断乙酰胆碱的作用，从而缓解肠胃痉挛所引起的腹痛。某些有机磷农药或杀虫剂对生物体的毒害，也是由于药物抑制了胆碱酯酶的活性而引起的。

【核酸酶】催化核酸水解生成核苷酸和寡核苷酸一类酶的总称。核酸酶作用的特异性可以作为核酸酶分类的依据。根据被作用底物的专一性，可分为脱氧核糖核酸酶（简称 DNA 酶或 DNase）和核糖核酸酶（简称 RNA 酶或 RNase）以及非专一性酶。根据作用方式可分为内切核酸酶和外切核酸酶。前者产生寡核苷酸片段，后者产生单核苷酸，有少数酶兼有内切和外切酶的特性。根据磷酸键断裂的位置，可将核酸酶分为两类：一类作用于 3' -OH 和磷酸基之间的酯键，产物的 5' -端含有磷酸基；另一类作用于 5' -OH 和磷酸基之间的酯键，产物的 3' -端含有磷酸基。核酸酶能水解多核苷酸分子中的磷酸二酯键，所以又叫磷酸二酯酶，它是核酸分解代谢第一个酶。

【DNA 聚合酶】指脱氧核糖核酸聚合酶，又称为依赖于 DNA 的 DNA 聚合酶。能催化小分子的脱氧核糖核苷酸三磷酸单体，聚合成脱氧核糖核酸（DNA）的酶。以 DNA 分子的一条链为模板，按照碱基互补规律，在 DNA 聚合酶的参与下，将 4 种脱氧核糖核苷酸三磷酸合成另一条单链 DNA，新合成的 DNA 与模板 DNA 的结构完全相同。具有同样的核苷酸排列顺序，只是形成方向相反

且平行的双链结构。DNA 聚合酶在 DNA 的复制过程中，起重要作用。当 DNA 聚合酶的结构和功能发生改变时，就会影响 DNA 复制的准确性。DNA 聚合酶的种类很多，分布甚广。在大肠杆菌中有 3 种：即 DNA 聚合酶 I、II、III。在高等真核细胞中存在 4 种 DNA 聚合酶，分别为 DNA 聚合酶 α 、 β 、 γ 及 δ 。

【RNA 聚合酶】又称转录酶或依赖于 DNA 的 RNA 聚合酶。它的作用是在 DNA 模板上合成 RNA。生物体内的 RNA 生物合成反应，是在 RNA 聚合酶的催化下，以各种三磷酸-5' -核苷 (ATP、GTP、CTP、UTP) 为底物，以 DNA 为模板合成的。所合成的 RNA 的核苷酸顺序，能反映模板 DNA 的核苷酸顺序。首先是 RNA 聚合酶与 5' -嘌呤核苷三磷酸结合形成一个酶——DNA 复合物，然后在游离的 3' -羟基上接加核糖核苷酸而使核苷酸链加长。合成初期产物的第一个核苷酸残基的第 5' -位有一个三磷酸基，在另一端（即生长端）的 3' -位有一个游离的羟基，后来的核糖核苷酸就在这个游离的羟基上加接。所以 RNA 的合成方向，是从 RNA 分子的 5' -末端向 3' -末端进行。大肠杆菌的 RNA 聚合酶全酶的分子量约 50 万，由五个亚基 ($\alpha_2\beta\beta'\alpha$) 组成。没有 α 亚基的酶 ($\alpha_2\beta\beta'$) 叫核心酶。核心酶只能使已开始合成的 RNA 链延长，没有起始合成 RNA 的能力，必须加入 α 亚基才表现出全部聚合酶的活性。真核细胞的 RNA 聚合酶有好多种，分子量都在 50 万左右，通常由 4—6 种亚基组成。根据 α -鹅膏蕈碱的抑制作用，可把 RNA 聚合酶分成三类：A、B、C 等三类。

【酯酶】催化酯水解的酶。酯是由醇及酸相互作用失水而形成的一类有机化合物，失去的水，其中氢来自醇，羟基来自酸。形成的

键称为酯键。凡是含有酯键的化合物都可被酯酶水解，形成酸和醇。根据水解底物的不同，酯酶又有很多种，如磷酸酯酶、胆碱酯酶、乙酰胆碱酯酶、磷酸单酯酶、磷酸二酯酶等。

【转氨酶】又称氨基移换酶。催化氨基自氨基酸向酮酸转移的一种酶。从而产生相反的酮酸和氨基酸对。转氨酶使原来的 α -氨基酸变成相应的 α -酮酸，原来的 α -酮酸就成相应的 α -氨基酸。转氨酶在体内催化的转氨基作用，是生物体内合成非必需氨基酸的重要途径。人体内的转氨基作用以谷氨酸与 α -酮酸的转氨体系最为重要。转氨酶主要布在细胞内，血清中很少。在各组织器官中又以心脏（GOT 含量）和肝脏（GPT 含量）为最高。当某种原因，使细胞膜通透性增高或因组织坏死，细胞破裂后，可有大量转氨酶溢入血清中，于是血清中的转氨酶活性升高。因此，测定血清中转氨酶的活性，可以在临床上协助诊断疾病。例如，急性肝炎时，血清中的谷丙转氨酶活性明显上升；而心肌梗塞患者的血清中，谷草转氨酶的活性显著上升。

【核酸外切酶】又称外切核酸酶。降解核酸的一种酶。它的作用特点，是从多核苷酸（核糖核酸或脱氧核糖核酸）链的一端一个一个地切下单核苷酸。例如蛇毒磷酸二酯酶和牛脾磷酸二酯酶都是核酸外切酶。但是由于作用方式不同，所得产物亦不同。蛇毒磷酸二酯酶的作用方式，是从多核苷酸链的游离 $3'$ -羟基端开始，逐个水解下 $5'$ -核苷酸。其产物为 $5'$ -核苷酸。而牛脾磷酸二酯酶则相反，它作用的方式是从游离 $5'$ -羟基端开始，逐个水解下 $3'$ -核苷酸。其产物为 $3'$ -核苷酸。

【核酸内切酶】又称内切核酸酶。核酸酶中，无论是核糖核酸酶还是脱氧核糖核酸酶，凡是能水解核酸分子内磷酸二酯键的酶都可称核酸内切酶。它作用的特点，可从多核苷酸链或各种寡核苷酸链内部开始裂解。使多核苷酸生产寡核苷酸片段。不同的核酸内切酶，所要水解的磷酸酯键不同。有的酶有专一性，有的酶没有专一性。例如：牛胰核糖核酸酶就是一种内切酶，它特异的水解其中嘧啶核苷酸的 C-3' 磷酸基与下一个核苷酸 C-5' 相连的磷酸二酯键，生成自由的 3' -嘧啶核苷酸（即 3' -胞苷酸和 3' -尿苷酸）和以它们为末端基的寡核苷酸碎片。核糖核酸酶 T_1 ，从曲霉菌中提取的，也是一种核酸内切酶，它能特异地切断多核苷酸或寡核苷酸链中鸟苷酸的 C-3' 磷酸基与相邻核苷酸 C-5' 相连的磷酸二酯键。生成自由的 3' -鸟苷酸或以它为末端基的寡核苷酸。

【限制性核酸内切酶】水解核酸链内磷酸二酯键的酶称为核酸内切酶，包括作用于 RNA 的核糖核酸酶和作用于 DNA 的脱氧核糖核酸酶。某些核酸内切酶具有较高的特异性。在细菌内存在一类能识别并水解外源双链 DNA 的核酸内切酶，称为限制性核酸内切酶。

【环化酶】催化三磷酸腺苷（ATP）和三磷酸鸟苷（GTP）形成环一磷酸腺苷（cAMP）或环一磷酸鸟苷（cGMP）的酶。在生物体内发现了一些比较特殊的而且非常重要的环状核苷酸。例如：3'，5' -环化腺苷酸（cAMP）和 3'，5' -环状鸟苷酸（cGMP）。环核苷酸普遍存在于动、植物及微生物细胞中，虽然含量极少，但具有重要的生理功能。它们具有放大和缩小激素作用信号的功能。被称为第二信使。cAMP 也参与大肠杆菌中 DNA 转录的调控。腺

苷酸环化酶，分布甚广，除成熟的红细胞外几乎存在于哺乳动物全部细胞膜上。当腺苷酸环化酶，被激素（第一信使）所激活，被激活的腺苷酸环化酶存在于细胞质膜的内侧，催化细胞质中紧邻质膜内侧的腺苷三磷酸形成环腺苷酸。环腺苷酸作为第二信使又通过激活其他一系列酶而起作用。

【逆转录酶】又称反转录酶。是一个依赖于 RNA 的 DNA 聚合酶。按照传统的中心法则，遗传信息的传递只能由 DNA 到 RNA，然后到蛋白质，是一种单向进行过程。可是逆转录酶的作用恰与中心法则（DNA→RNA→蛋白质）所描述的遗传信息流相反。它以 RNA 作为模板催化四种脱氧核苷-5' -三磷酸合成 DNA。同时还需要有适当浓度的二价阳离子（ Mg^{2+} 及 Mn^{2+} ）和还原剂（以保护酶蛋白中的巯基）参加。逆转录酶多发现于病毒中，如肿瘤病毒、艾滋病病毒等。它具有双重聚合功能。它可以利用病毒 RNA 为模板，在其上合成一条互补的 DNA 链，形成 RNA-DNA 杂交分子，然后又以新合成的 DNA 链为模板，合成另一条互补 DNA 链，形成双链 DNA 分子。

【异构酶】催化各种同分异构体之间互相转变的一类酶的总称。如葡萄糖异构酶可将葡萄糖转化为果糖。消旋酶可将 D-丙氨酸转变成 L-丙氨酸，也属于此类。

【过氧化物酶】一种含铁卟啉的酶，有过氧化氢（ H_2O_2 ）存在时，能催化 H_2O_2 氧化有机物质。此酶把过氧化氢作为电子受体来催化底物的氧化作用。还有过氧化氢酶，也是含铁卟啉的酶，能使过氧化氢分解放出氧。这两个酶的作用相似，只是底物不同。过

氧化物酶存在于一种特殊的细胞器（过氧化物酶体）中，在生物氧化反应中起重要作用。

【超氧化物歧化酶】简称 SOD。催化超氧化物自由基 (O_2^-) 在 H^+ 的存在下，自我氧化还原的一类酶。超氧化物自由基 (O_2^-) 在超氧化物歧化酶的催化下与 H^+ 作用，一个 O_2^- 被氧化成 O_2 ，另一个被还原成 H_2O_2 。超氧化物自由基是由于氧分子接受一个电子 ($O_2 + e \longrightarrow O_2^-$) 形成的。它对机体有很大的伤害作用，过多的存在于机体内，可使机体因氧中毒而死亡。超氧化物歧化酶有几种不同类型：有的含锰 (Mn)，有的含铁 (Fe)，有的含有铜 (Cu) 或锌 (Zn)。但无论含有哪种金属的酶都催化同一反应。它广泛分布于生物界，从细菌、真菌到高等动植物都有。它的生物功能是清除机体内的超氧化物自由基。解除氧中毒以及抢救受放射性照射的病人。因此，它可以作为一种酶药物而用于临床。另外，SOD 对不少疾病具有一定疗效，如风湿性关节炎、骨关节炎以及其他一些急性炎症等。近来又大量用于化妆品的制造。

核 酸

【核酸】一类生物大分子化合物。由许多个核苷酸通过磷酸二酯键连接而成。核酸有很多种，根据核糖的不同，可将核酸分为核糖核酸 (RNA)、脱氧核糖核酸 (DNA) 两类。核糖核酸又可分为信使核糖核酸 (mRNA)、转移核糖核酸 (tRNA) 和核糖体 (rRNA)。脱氧核糖核酸，根据结构的不同，也可分为环状 DNA、

链状 DNA。还有 A-DNA、B-DNA、Z-DNA 等。核酸存在于所有动植物细胞、微生物、病毒和噬菌体中，是生命最基本物质之一。对生物的生长、发育、遗传、变异等生命现象都起着重要的决定性的作用。在生物体内核酸常与蛋白质结合在一起，形成核蛋白。不同生物体内的核酸，由于其化学组成、核苷酸的排列顺序等的差别而各有不同。不同的核酸具有不同的生物功能。

【核苷】由戊糖（核糖或脱氧核糖）和碱基（嘌呤或嘧啶）缩合而成，并以糖苷键相连接（糖环上的 C_1 与嘧啶碱的 N_1 或与嘌呤碱的 N_9 相连接）。核苷可以分成核糖核苷与脱氧核糖核苷两大类。也可分成嘌呤核苷和嘧啶核苷两大类。由于碱基不同，可以组成不同的核苷。如腺嘌呤核苷、鸟嘌呤核苷、胞嘧啶核苷、尿嘧啶核苷、腺嘌呤脱氧核苷、鸟嘌呤脱氧核苷、胞嘧啶脱氧核苷、胸腺嘧啶脱氧核苷等。前 4 种核苷中的戊糖为核糖，后 4 种核苷中的戊糖为脱氧核糖。核苷是核苷酸的组成成分。

【核苷酸】由碱基（嘌呤或嘧啶）、戊糖（核糖或脱氧核糖）与磷酸组成的化合物。是组成核酸的基本单位。可由核酸水解或核苷中的戊糖羟基被磷酸酯化制得。根据戊糖的不同，可分为核糖核苷酸和脱氧核糖核苷酸。因戊糖上不同位置的羟基与磷酸结合，又可分为 3'-核苷酸和 5'-核苷酸。根据碱基的不同，可分为嘌呤核苷酸（如腺嘌呤核苷酸、鸟嘌呤核苷酸）和嘧啶核苷酸（如胞嘧啶核苷酸、尿嘧啶核苷酸、胸腺嘧啶脱氧核苷酸）等。它们大部分以结合的形式存在，也有以单个核苷酸形式，游离在生物体内。个别的核苷酸能增强味精的鲜味，如 5'-鸟嘌呤核苷酸和 5'-肌苷酸等，食品工业中常用作助鲜剂。

【碱基对】在 DNA 分子的双螺旋结构中，位于两条多核苷酸链上的嘌呤碱基和嘧啶碱基，通过氢键而互相搭配成对的结合形式。碱基的配对不是任意的，而是遵循着一定的原则和规律。如腺嘌呤（A）专与胸腺嘧啶（T）配对，而鸟嘌呤专与胞嘧啶配对。所以在 DNA 分子中两条链碱基的配对必然是 A 对 T，G 对 C。而且链本身的方向则是相反的。一对由氢键连接的碱基一个是嘌呤，一个是嘧啶（ $A=T$ ， $G=C$ ），这样两个碱基就称为碱基对。这种碱基对的对应互补关系在 DNA 中如此，在 DNA 与 RNA 链中也是如此，只是腺嘌呤对应的不是胸腺嘧啶而是尿嘧啶（ $A=U$ ）。因为 RNA 中没有胸腺嘧啶。在 RNA 与 RNA 及单链的某些部位也存在着碱基配对的现象。这对维持核酸分子的空间结构，对遗传信息的传递，对复制、转录等过程的正常进行，都有极其重要的意义。

【碱基序列】在一条多核苷酸链中，4 种核苷酸的线性顺序。DNA 分子上 4 种核苷酸排列顺序（即碱基序列）是很重要的，因为生物的遗传信息贮存在 DNA 的核苷酸序列之中，而且生物界的多样性，也是由于 DNA 核苷酸千变万化的不同排列。因此，测定碱基序列，就成为分子生物学中的重大课题。

【腺嘌呤】又称 6-氨基嘌呤。简写为 A，是嘌呤碱的一种。存在于核糖核酸和脱氧核糖核酸中，是腺苷或腺苷酸的组成成分。

【鸟嘌呤】又称 2-氨基-6-氧嘌呤。简写为 G。存在于 DNA 和 RNA 分子中，是鸟苷和鸟苷酸的组成部分。鸟嘌呤核苷与一、二、三

个磷酸分子相结合，分别形成鸟苷酸（简称为 GMP），二磷酸鸟苷（简称为 GDP）和三磷酸鸟苷（简称为 GTP）。鸟苷酸（GMP）在鸟苷酸环化酶的作用下，生成一种环状核苷酸，称为环 GMP 或称鸟嘌呤 3', 5' -环一磷酸（简称为 cGMP）。

【胞嘧啶】又称 2-氧-4-氨基嘧啶。简写 C。是嘧啶碱基的一种。存在于 DNA 和 RNA 分子中。也是胞苷和胞苷酸的组成成分。胞苷的单、二、三磷酸酯，分别缩写为 CMP、CDP 和 CTP。在未加指明的情况下，这些缩写表明磷酸是连接在核糖的 5' 位上。CDP 的衍生物（CDP-胆碱），在磷酸甘油脂的合成中，可作为胆碱的供体。

【尿嘧啶】又称 2, 4-二氧嘧啶，简写为 U。存在于 RNA 分子中。它是组成尿嘧啶核苷和尿嘧啶核苷酸的成分。尿苷一磷酸、二磷酸、三磷酸酯分别简称 UMP、UDP 和 UTP。这种略称除非另行标明外，一般指 5' -核苷磷酸酯。

【胸腺嘧啶】又称 5-甲基-2, 4-二氧嘧啶，简写为 T，嘧啶碱基的一种。是在 DNA 中发现的。它是胸腺嘧啶脱氧核苷和胸腺嘧啶脱氧核苷酸的组成部分。胸腺嘧啶的脱氧核糖核苷，它的单、二和三磷酸酯分别简称 TMP、TDP 和 TTP。此简称除另有注明外，一般均指 5' -核苷磷酸酯。

【腺苷三磷酸】全名为腺嘌呤核糖核苷三磷酸，又称三磷酸腺苷或腺三磷，简写 ATP。是由腺嘌呤核苷 5' -磷酸（AMP），在第 5' -位上进一步磷酸化而产生的二磷酸腺苷（ADP）和三磷酸腺苷（ATP）。同样，其他核苷 5' -磷酸也可进一步磷酸化，生成相

应的二磷酸核苷和三磷酸核苷。三磷酸腺苷的末端两个磷酸键为高能磷酸键。高能磷酸键的形成和分解，都伴随着能量的变化。ATP 是生物体内能量利用和储存的重要物质。在物质分解代谢过程中，由食物产生的能量，使 ADP 转化成 ATP，把能量贮存在高能磷酸键之中。当 ATP 水解变成 ADP 和磷酸时，释放能量，用来推动有机体内的需能反应。因此，可以把 ATP 和 ADP 称之为机体的能量转换器。在生物体中起着非常重要的作用。

【腺苷二磷酸】又称二磷酸腺苷或腺二磷，简写 ADP。在生物体内由腺苷 5' -磷酸（AMP）在第 5' 位上进一步磷酸化产生二磷酸腺苷（ADP）和三磷酸腺苷（ATP）。ADP 和 ATP 与机体的能量转换有关。例如，在糖分解过程中，2-磷酸甘油酸脱水所引起的内部能量重新分布，就产生烯醇式 2-磷酸丙酮酸。烯醇式 2-磷酸丙酮酸与 ADP 作用产生一个 ATP。将能量储存在 ATP 的高能磷酸键中，需要时再释放出来。

【脱氧核糖核酸】简称 DNA。核酸的一类。由许多脱氧核糖核苷酸连接而成。分子量很大，一般在百万以上，多的可达千亿（ 10^{11} ）。存在于细胞核、线粒体和叶绿体中。真核生物的 DNA 与蛋白质结合，形成染色质或染色体；原核生物的 DNA 以游离状态存在于细胞质中。某些病毒和噬菌体内也含有 DNA。它是绝大多数生物的遗传物质，亲代的遗传信息就是通过 DNA 的复制而传到子代的。在蛋白质的生物合成中，DNA 作为合成 mRNA 的模板，把储存的遗传信息传递给 mRNA，再由特定的 tRNA 按照遗传信息的指令，将一定的氨基酸连接成多肽链（蛋白质），表现出生物的遗传特征。

【核糖核酸】核酸的一类。因分子中含有核糖而得名。核糖核酸由许多核糖核苷酸通过磷酸二酯键连接而成，其主要的组成核苷酸为腺嘌呤核苷酸、鸟嘌呤核苷酸、胞嘧啶核苷酸和尿嘧啶核苷酸四种，有时还含有少量的上述四种核苷酸的衍生物（以甲基化衍生物为主）。存在于一切细胞的细胞质和细胞核中，也存在于大多数已知的植物病毒和部分动物病毒以及一些噬菌体中。细胞内的核糖核酸，因其功能和性质的不同可分为三类：（1）转移核糖核酸或称可溶性核糖核酸（tRNA），在蛋白质生物合成过程中，起携带和转移活化氨基酸的作用；（2）信使核糖核酸（mRNA），是合成蛋白质的模板；（3）核糖核蛋白体的核糖核酸（rRNA），同蛋白质一起构成核糖（核蛋白）体。核糖（核蛋白）体是细胞内合成蛋白质的主要场所。病毒和噬菌体的核糖核酸也起着极为重要的作用，它们的感染力和遗传信息都由核糖核酸来体现。

【信使核糖核酸】简写 mRNA。核糖核酸的一种，是一条单链的核糖核酸。它的生物功能是传递遗传信息，作为合成蛋白质的模板。DNA 是遗传信息的载体又是合成 mRNA 的模板。当 DNA 的遗传信息转录给 mRNA 时，只有一条单链被转录成 mRNA，而且不是整个 DNA 分子的信息都被转录成一个 mRNA。DNA 分子的一部分被转录成一种 mRNA，另一部分可被转录成另一种 mRNA，其分子大小也不相同。所以，一部分 DNA 只能决定某一种蛋白质的分子结构。mRNA 把遗传信息通过 tRNA 传递给蛋白质。mRNA 很不稳定，当它不再被用来作模板时，很快就被分解。

【转移核糖核酸】简写 tRNA，又称可溶性核糖核酸，是核糖核酸的一种。由 70—90 个单核苷酸残基组成，分子量约 25000，沉降系数在 4S 左右。在碱基的组成上除含有一般的腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和尿嘧啶外，还含有稀有碱基，主要是甲基化的碱基，它们仅出现在 tRNA 分子中的一定部位。tRNA 的生物功能，是在蛋白质的生物合成中起转运氨基酸的作用。各种不同的转移核糖核酸带有不同的反密码子。能与信使核糖核酸的密码子互补结合，使转运的氨基酸，在蛋白质肽链中，按一定的顺序排列。

【DNA 双螺旋模型】根据对 DNA 的 X 线衍射图象的分析，沃森和克里克在 1953 年建立了著名的 DNA 双螺旋模型。对 DNA 双螺旋立体结构可概括为：(1) DNA 分子一般是由两条螺旋状的多核苷酸链组成，这两条链绕同一个轴盘绕，形成一个双螺旋结构；(2) 在一条链上脱氧核苷酸的排列顺序是 $3' \rightarrow 5'$ ，而另一条链上则是 $5' \rightarrow 3'$ ，即这两条链的方向是相反的或者说它们是反向平行的；(3) 这两条螺旋状的链，都是右旋的相互缠绕，并通过各自链上碱基间形成的氢键，按照碱基配对的原则互相连接。即仅是腺嘌呤与胸腺嘧啶，鸟嘌呤与胞嘧啶互补结合。所以一条链上的碱基序列为另一条链上的碱基序列所决定，即这两条链是互补的；(4) 碱基的环是平面的，和螺旋轴成直角，聚集在双螺旋之间。碱基间的堆积距离为 3.4 埃 ($\text{\AA}$)，因双螺旋每一圈有 10 个碱基，所以每一圈，轴向上升高 34 埃，具有强极性的磷酸残基在螺旋的外部。DNA 双螺旋的直径为 20 埃。DNA 分子的双螺旋结构基本上是稳定的，但当外界条件发生变化时，螺旋的特征也会发生变化。当 DNA 钠盐纤维处在相对湿度为 75% 时，DNA 双螺旋存在的状态，称为 A-DNA。A-DNA 双螺旋的特征为：右手螺旋，每圈螺

旋所含的碱基对数为 11，螺距为 28 埃，每个碱基沿轴升高 2.56 埃。碱基倾角为 20° 。DNA 钠盐纤维在相对湿度为 92% 时所处的状态，被称为 B-DNA。当相对湿度为 66% 时，所制成的 DNA 锂盐纤维，它的状态称为 C-DNA。B-DNA 的特征为：右手螺旋，每圈螺旋所含碱基对数为 10，螺距为 34 埃，每个碱基升高 3.4 埃，每个碱基旋转度数为 36° ，碱基倾角为 0° （即与中心轴垂直）。C-DNA 的特征为：右手螺旋，每圈螺旋所含碱基对数为 9.3，螺距为 31 埃，每个碱基升高 3.31 埃，每个碱基绕轴旋转 38° ，碱基倾角为 6° 。在生物体内天然状态的 DNA 几乎都以 B-DNA 的状态存在。

在自然界还发现一种 DNA，是左手螺旋，由于 DNA 分子中磷原子的走向呈锯齿形，因此被命名为 Z-DNA。因为 Z-DNA 分子结构是左手螺旋结构，故又称左旋 DNA。Z-DNA 的特征为：左手螺旋，每圈螺旋所含的碱基对数为 12，螺距为 45.6 埃，每个碱基升高为 3.8 埃，每个碱基绕轴旋转角度为 36° 。碱基倾角为 9° 。Z-DNA 只有一条大沟，而无小沟。

【稀有碱基】嘌呤和嘧啶碱基的一类。大多数核酸中含量很少，但在 tRNA 中含量较多。它们的种类很多，但多数都是普通嘌呤和嘧啶碱基的甲基衍生物。例如在 DNA 中稀有碱基有 5'-羟甲基尿嘧啶 (hm^5U)、5-甲基胞嘧啶 (m^5C)、5-羟甲基胞嘧啶 (hm^5C) 和 N^6 -甲基腺嘌呤 (m^6A) 等。在 RNA 中的稀有碱基有 1-甲基次黄嘌呤 (m^1I)、5,6-二氢尿嘧啶 (DHU)、1-甲基鸟嘌呤 (m^1G)、1-甲基腺嘌呤 (m^1A)、2-甲基腺嘌呤 (m^2A)、5-甲基尿嘧啶 (m^5U)、 N^6 -甲基腺嘌呤 (m^6A)、 N^4 -酰基胞嘧啶 (QC^4C) 等。

【环状 DNA】一种闭环形结构的 DNA 分子（不一定指几何圆形）。环状 DNA 有单链环状 DNA 和双链环状 DNA 两种。如病毒（ΦX174）的 DNA 平时为单链环状 DNA，由 3575 个左右的核苷酸残基构成，分子量约 170 万左右。但在 DNA 复制时，ΦX174DNA 单链变成双链环状 DNA。根据科学研究发现，在自然界中单链环状 DNA 并不常见，而双链环状 DNA 则普遍存在。

【核酶】(ribozyme) 又译核糖核酸催化剂或类酶核糖核酸一类有催化活性（主要是能剪接特定 RNA 序列的）核糖核酸。本世纪 80 年代初由美国学者切赫（Thomas R. Cech）和奥尔特曼（Sidney Altman）分别发现。为此，他们共获了 1989 年的诺贝尔化学奖。

维 生 素

【维生素】又称维他命。生物生长和代谢所必需的微量有机化合物，在天然食物中含量很少。已知 20 多种维生素，大致可分为脂溶性和水溶性两大类，前者包括维生素 A、D、E、K 等，后者有 B 族维生素和维生素 C。B 族维生素包括 B₁、B₂、B₆、烟酸、叶酸、泛酸、生物素等。维生素大多是某些辅酶的组成部分。人和动物缺乏维生素时，往往生长迟缓，并发生特异性的病变。避免维生素缺乏的合理方法为膳食多样化，注意减少食物维生素在烹调加工中的损失。病人、特殊工种劳动者，儿童和孕妇等对维生素的需要量较常人为高。许多维生素现已能提纯或人工合成，这些纯品和一些富含维生素的食物、制剂（如鱼肝油、干酵母），均可用于

防治维生素缺乏症。

【维生素 A】 又称抗干眼病维生素。一类脂溶性维生素，其前身为胡萝卜素。属于醇类，又称视黄醇。维生素 A 主要存在于肝脏中，特别在鱼肝油中含量最多。维生素 A 的醛是视网膜内感光色素的组成成分。缺乏时，导致儿童生长发育停滞，骨骼变形，皮肤易受损害，引起干眼病、夜盲症等疾病。防止维生素 A 的缺乏，食用鱼肝油或胡萝卜素制剂均可。但摄入过量亦会产生毒性，引起嗜眠、腹痛、头痛、出汗过多和指甲变脆等症状。

【维生素 D】 又称抗佝偻病维生素。主要存在于动物性食品中，特别是鱼肝油中含量最多，植物、酵母中亦有。属于类固醇化合物。主要有维生素 D₂ 和维生素 D₃。它们参与钙和磷酸盐的代谢调节以及骨骼的钙化作用。缺乏时儿童易患佝偻病，成人易患骨软化病。维生素 D₂ 由麦角固醇经紫外线照射而生成，维生素 D₃ 则由紫外线照射 7-脱氢胆固醇而得。因此多晒日光，可以促进维生素 D 的形成。维生素 D 从体内排泄的速度很慢。因此，摄入量过多，会造成中毒，导致血液中钙的水平上升，以致影响血压和造成钙在皮下和肾小管内沉积等。所以服用维生素 D 时要注意不可过量。

【维生素 E】 又称生育酚。与维生素 A 和 D 同是脂溶性维生素。广泛存在于动物和植物的脂肪和油中。具有抗氧化作用。缺乏时出现肌肉萎缩、不育、流产等症。自然界中具有维生素 E 活性的物质已知有八种，其中生物活性最强的维生素 E 是 α -生育酚， β 和 γ -生育酚活性较差，它们的活性分别为 α -生育酚的 25% 和 19%。

【维生素 K】 又称凝血维生素。是 2-甲基萘醌的衍生物。广泛存在于绿色植物和其他植物组织中。在光合作用中，有一定功能。是动物体凝血过程中所需的重要物质。是一种常用的抗出血药物。

【维生素 B】 包括 B_1 、 B_2 、 B_6 、 B_{12} 。是水溶性维生素。维生素 B_1 ，又称“硫胺素”或“硫胺”。存在于米糠、麦麸、酵母、坚果、花生、大豆和肉类中，特别是瘦猪肉中含量丰富。缺乏时引起脚气病。维生素 B_2 ，又称“核黄素”。存在于肉、蛋、乳、肝及植物食品中。缺乏时引起皮炎、口角炎、阴囊炎及神经系统和胃肠道的紊乱。医学上应用核黄素制剂来治疗维生素 B_2 缺乏症。维生素 B_6 是吡哆醇、吡哆醛、吡哆胺的总称。动物缺乏维生素 B_6 时，可引起皮炎、痉挛和贫血等症。但维生素 B_6 缺乏症在人类中极为少见。维生素 B_{12} ，又称“钴胺素”。一类含钴的有机化合物。存在于动物性食物中。缺乏维生素 B_{12} ，可引起恶性贫血。必须采用胃肠外注射维生素 B_{12} 的方法予以治疗。

【叶酸】 又称蝶酰谷氨酸。B 族维生素之一。广泛存在于绿色叶子中，肝、肾、酵母中含量也很丰富。与氨基酸和核酸代谢有密切关系。缺乏时会导致巨红细胞贫血症。

【烟酸】 又称尼克酸。B 族维生素之一。肉类含有丰富的烟酸，其他食物如糙米、粗面、酵母、乳类和叶菜等，含量也很丰富。其衍生物烟酰胺是生物氧化中某些重要辅酶的组成部分。缺乏烟酸时，引起糙皮病、皮肤炎、腹泻、痴呆等症。故又称“抗糙皮病维生素”。烟酸还有扩张外周血管的作用。烟酸过多会使皮肤发红、

发痒、肠胃不适，有时还有降低血清胆固醇的功能，但烟酰胺过多则无这些现象。

【生物素】B 族维生素之一。是咪唑骈噻唑的衍生物。广泛分布天然食品中，但各种食品中的生物素利用率有很大差异。动物组织、蛋黄、蕃茄、酵母是生物素的最好来源。卵白中含有抗生物素，能与生物素紧密结合，阻止它从肠壁被吸收而导致生物素缺乏。生物素是各种羧化酶的组成部分。在物质代谢中起重要作用。

【泛酸】又称遍多酸。B 族维生素之一。它广泛分布于食物中，糙米、粗面、酵母、麦胚、动物组织中含量都很丰富。一种重要辅酶（辅酶 A）的组成部分。辅酶 A 与脂肪和糖代谢有密切关系。

【维生素 C】又称抗坏血酸。一种水溶性维生素，存在于新鲜的蔬菜和水果中。性质很不稳定，容易被氧化成脱氢抗坏血酸。在组织中，还原型和氧化型的抗坏血酸的比例会有变化。它对维持结缔组织的正常代谢有至关重要的作用。缺乏它会引起坏血病。牙龈出血也是维生素 C 缺乏的症状。预防抗坏血酸病的发生，要多吃水果和蔬菜或服用维生素 C 药片。正常人每日需要量在 50 毫克左右。

细 胞

细胞结构与功能

【冰冻蚀刻技术】电镜标本制备上的一种新技术。其方法是将生物样品在 -100°C 的冰中或 -196°C 的液氮中超低温冰冻，然后在预冷的真空喷镀仪样品台上，用冷刀将冻结的标本快速断开，使其露出表面结构。当温度稍微升高后，令样品中的冰在真空条件下迅速升华。这样，细胞内外凡空隙处或含游离水较多的地方将下陷，断裂面上的结构得以暴露。冰升华暴露出标本结构的步骤称为蚀刻。标本蚀刻后，对其断面以一定角度喷镀铂-碳及碳膜，使表面复型。从真空中取出样品，把复型膜在蒸馏水中小心剥离，放入 $70\%\text{H}_2\text{SO}_4$ 或其他腐蚀性溶液中除去生物材料，用重蒸馏水漂洗复型膜并打捞于铜网上，干后进行电镜观察。复型膜能反映出标本蚀刻面的自然形态。由于断裂可以把膜的内、外两半纵向撕开，显示出细胞膜中的穿膜成分，所以冰冻蚀刻技术可获得其他样品制备技术所不能获得的精细结构图像。

【超高压电镜】指利用电子束的加速电压（可达100万伏或更高）制成的电镜。此种电镜可以穿透厚达2—3微米的样品。所以，穿

透力强是超高压电镜最大的特点。可用于观察较厚的样品，获得较高的分辨率。此外，高压电镜由于散射小，可减少对样品的损伤。还可用来观察带水的样品，甚至可能做某些活体观察，用于生物学研究有广阔的前景。

【显微分光光度计】显微分光光度计 (MSP) 是用来测定固定于载玻片上的细胞或组织切片的细胞光度计。它的主机结构仍是普通光学显微镜或荧光显微镜，而且标本的制备方法也与普通光镜的标本制备法相同。它是一种利用分光光度原理，以特定波长的单色光在显微放大情况下对样品微细结构中的化学物质进行超微量分析的仪器。由普通光学显微镜或荧光显微镜加上分光光度计组成。测定染色的细胞或组织对光的吸收或荧光染料荧光发射的强度就可推算出细胞成分的相对含量。

【流式细胞术】简称 FCM。一种快速测定单个细胞物理、化学、生物特性的仪器。主要结构分为上下两部分，上半部分由四个部件构成：(1) 标本室，内装细胞悬液，标本四周被无细胞鞘液（常用的是 PBS 缓冲液）包围着。二者在气体的压力下以每秒 10 米左右的流速由喷嘴数十微米孔径的小孔中喷射出来，从而保证细胞悬液以每秒钟 5000—10000 个细胞的速度逐个经喷嘴小孔垂直射入光敏感区域。(2) 光源，一般采用氩离子激光，可保证每个细胞在 1—2 微秒内接受均一的照射。激光束经透镜聚焦后在液柱上形成 10 微米左右的光斑为测量区。细胞通过测量区时，受到激光照射后将激光向空间各处散射，从激光源对面正对激光源处测得的散射光称为前向角散射光，其强度与细胞大小有关；在与液柱、激光束相互垂直方向测得的散射光称 90° 散射光，其强度与细

胞内部结构有关。在适当的激光作用下，被荧光染料染色的细胞发射出一定量的荧光脉冲讯号。而未经染色的细胞可用前向角散射光或 90° 散射光来测量细胞的光散射。(3) 探测器。光散射与荧光讯号被探测器或高效光电感应器收集。各种不同讯号由模拟讯号转换为数字讯号，然后传入计算机储存或分析。(4) 计算机。进行数据储存与处理，并将结果显示在荧光屏上或通过打印机描记下来。仪器下半部是分类器。当细胞逐个喷射出来后，根据实验需要，对所选定的荧光强度或光散射范围内的细胞，通过电子控制柜指令，加以负电荷，在标本室下方有正负两个电极板，带负电荷的细胞偏向正极，其余的细胞偏向负极电板，从而可将所需的细胞分离出来。利用流式细胞术目前已可测量细胞的大小、体积、DNA 含量、总蛋白、RNA 含量、表面抗原、染色体、膜的完整性、DNA 合成速率等。

【细胞学说】关于细胞是动、植物结构和生命活动的基本单位的学说。1838—1839 年由德国的植物学家施莱登和动物学家施旺提出。认为“一切生物从单细胞到高等动、植物，都是由细胞组成的；细胞是生物形态结构和功能活动的基本单位”。从而论证了生物界的统一性和共同起源。细胞学说建立后不久(1855)，德国病理学家微尔和又提出“一切细胞来自细胞”的概念，使细胞学说更加完善。19 世纪的下半叶是对细胞研究的繁荣时期，相继发现了许多重要的细胞结构和细胞活动现象。细胞学说建立后，很快深入到各个领域中去，如研究原生动物，观察到它们是只含有一个细胞的动物；把细胞理论运用到胚胎学，证明精子和卵都是细胞，受精卵通过分裂发展成为有机体；把细胞理论应用到病理学，证明病理过程是在细胞和组织中进行的等。1861 年，舒尔特给细

胞下了如下的定义：“细胞是赋有生物特征的一团原生质，其中有一个核。”细胞学说的内容主要包括：（1）所有动、植物都由细胞和细胞的产物所组成；（2）所有细胞在结构和组成上基本相似；（3）动、植物体的功能是通过细胞的活动而实现的；（4）新细胞由已存在的细胞分裂而来；（5）动、植物生病归根结底是由于细胞功能的失常。

【细胞】原核生物和真核生物结构和功能的基本单位，是有膜包围的能进行独立生活和繁殖的最小原生质团。细胞本身是高度有组织的复杂分子的集合，每种分子按一定严格顺序和结构实现着生命的基本功能。它能够表现各种生命现象，例如新陈代谢、生长和发育、繁殖、遗传、变异、应激性和对环境的适应等。在化学组分上，所有细胞均由水、盐类、核酸、蛋白质、糖类、脂类以及其他各种微量物质如维生素、细胞代谢中间产物等组成。水、盐离子和某些维生素或与细胞中的大分子组成复合物，或者游离存在。在不同细胞或不同生物中，它们的含量差别很大。细胞一般由细胞膜、细胞质和细胞核组成。由于细胞是生物体最基本的结构单位，因此必须具有生命活动的最基本要素，即一套基因组、一层细胞膜（通过膜与周围环境进行物质交换）和一套完整的代谢机构。植物细胞与动物细胞的主要区别是植物细胞有细胞壁及叶绿体。根据结构，通常把细胞分为两大类：原核细胞和真核细胞。前者包括支原体、衣原体、立克次氏体、细菌和蓝藻；后者构成真核生物，包括原生动物、单细胞植物，以及由许多形态不同和功能各异的细胞所组成的低等和高等的真菌、植物和动物。多细胞生物在系统发育上都由单细胞生物发展而来，在个体发育上都由单细胞的受精卵开始。

【原核细胞】在进化上较为原始的细胞。主要结构有细胞膜、细胞质、核糖体以及由没有核被膜包围的核物质构成的拟核。无成形的细胞核和无线粒体、高尔基体、质体等细胞器，是原核细胞与真核细胞的主要区别。在枝原体，遗传物质分布于整个细胞中，而在细菌、蓝藻，则存在于细胞的一个或几个区域中，但与周围物质无明确的分界。遗传物质 DNA 是不与蛋白质结合的裸露的双螺旋环状分子。此外，原核细胞体积比较小，只有 1—10 微米；形态结构简单，外面包有质膜，多数在质膜外还有一层细胞壁，其内有细胞质和拟核，除含有核糖体和间体（原核细胞近核区的细胞膜内褶）外，没有真核细胞中的各种细胞器。没有恒定的膜系统及由膜隔开的特化区域，也是原核细胞与真核细胞的重要区别。原核细胞中的核糖体比真核细胞中的小，为 70S 类型的，而且构成核糖体的 RNA 和蛋白质也与真核细胞的不相同。原核生物都是单细胞生物或单细胞群体，通常进行无丝分裂。

【真核细胞】具有成形细胞核和各种细胞器的细胞。真核细胞由细胞核、细胞质和质膜构成，大多数植物细胞在质膜外还有细胞壁。真核细胞最明显的特征是含有由核膜包围的细胞核，并与细胞质分开；其次是细胞内有膜把细胞区分为许多功能区，在细胞质中存在着由膜围成的细胞器（如线粒体、叶绿体、内质网、高尔基器、溶酶体等），其核糖体为 80S 类型的。真核细胞中的遗传物质 DNA 与蛋白质结合在一起形成染色体，核中还有核仁。真核细胞一般较大，多数直径在 10—60 微米之间，细胞分裂主要为有丝分裂。

【细胞膜】包围细胞质的一层薄膜。又称细胞质膜或外周膜，是生物膜的一种。它是由蛋白质、脂质、多糖等分子有序排列组成的动态薄层结构，平均厚度约 10 纳米（nm）。细胞膜是细胞与环境进行物质、能量、信息转换的通路，是细胞表面最重要的结构。细胞膜的主要化学组分是脂类、蛋白质和多糖；此外，还有水分，少量无机盐及微量核酸。蛋白质和脂类的比例因细胞膜种类的不同有很大差异。脂质中大部分为磷脂，其次为胆固醇及少量糖脂。三种脂类均有亲水性质。它们含有亲水的极性头和疏水的非极性末端。如一个磷脂分子就含有一个极性头和两个非极性的碳氢链尾。磷脂分子的亲水端向外，疏水端向内，排成脂质双分子层。磷脂双层是生物膜的基本结构单位。脂双层的内外两层中的脂类分子分布不对称，糖脂在外层，糖残基位于脂双层的表面。蛋白质和脂类相结合形成脂蛋白。细胞膜中的蛋白质都是球形蛋白，有单体也有聚合体。根据膜蛋白与膜脂的相互作用方式和存在部位，膜蛋白可分为外在蛋白（或称周缘蛋白）和内在蛋白。按其功能又可分为受体蛋白、载体蛋白和酶蛋白等。由于膜上所结合的蛋白质的差异，在不同类型细胞的表面，其膜的生物学行为也各不相同。多糖主要以糖脂或糖蛋白的形式存在，具有很重要的生理功能，如细胞识别、激素作用等几乎都涉及到糖脂和糖蛋白。细胞膜的基本特征是具有流动性，脂类和蛋白质均处于运动的状态。膜的流动性与细胞膜的功能有密切关系，如细胞融合、细胞识别，细胞表面受体的功能及其调节、物质运输等，皆与膜的流动性有关。

【血影】红细胞的空壳。哺乳动物和人的红细胞，没有内膜，没有核，将它们低渗处理后，便会造成溶血现象，细胞内的血红蛋白和无机盐等被溶出细胞外，剩下的细胞膜“空壳”即为血影。利

用血影可对细胞膜进行化学组分分析。

【生物膜】细胞膜和细胞内各种膜的总称。细胞表面的膜。称为细胞膜或质膜，也称外周膜。此外，在真核细胞内还有丰富的膜系统，它们组成具有各种特定功能的细胞器和亚显微结构，如线粒体、叶绿体、内质网、高尔基器、溶酶体、微体、细胞核等，都是由膜围成的。构成这些细胞器的膜称为细胞内膜。外周膜和细胞内膜统称为生物膜。生物膜对细胞内的一系列催化过程的有序反应和整个细胞的区域化，提供了一个必需的结构基础。

【间体】在细菌的细胞质中所存在的一个或数个较大的、有规则的层状、管状或囊状物。它是细菌细胞质中主要的、典型的单位膜结构，与细胞膜相连。间体由细胞膜向内简单延伸或折叠而成。其化学组成与细胞膜相同，仅含量上有差别。对间体的生理功能还不完全了解，推测它可能是呼吸作用的电子传递系统的中心，相当于高等生物的线粒体。在细胞分裂时，间体位于新形成的横隔壁处，而且 DNA 的复制点亦与间体相结合，所以可能与拟核的分裂有关。另外，间体的一边与细胞膜相连，另一边与核物质接触，起着向拟核运送物质和能量的作用。芽孢的形成可能也与间体有关。

【流体镶嵌模型】细胞膜结构分子模型。1972 年美国辛格尔和尼科尔森在膜脂的流动性和膜蛋白分布的不对称性等研究基础上提出。此模型认为膜是由脂质和蛋白质分子按二维排列的流体结构

(见图)。与过去提出的所有模型不同，这个模型的特点首先在于指出膜的结构不是静止的，流态的脂质双分子层构成膜的连续体；其次，这个模型显示了膜蛋白分布的不对称性；有的“镶嵌”在脂质双分子层表面，有的则部分或全部嵌入到脂质双层的内部，有的则横跨脂质双分子层，由于脂类分子处于液态可以“流动”状态，所以蛋白质分子在膜内也是可以运动的；这个模型的第三个特点是显示出膜的功能是通过蛋白与脂类、蛋白与糖类、脂类与脂类之间的相互复杂的作用来实现的。

【细胞表面】细胞与细胞外环境的边界，是一个复合的结构和多功能体系。在各类细胞中差别很大。主要包括细胞膜和细胞外糖萼（或称细胞被），还有细胞膜内的溶胶层（或称胞质溶胶）。其中细胞外糖萼是质膜内部的糖蛋白和糖脂伸出脂双层外侧的糖链部分。动、植物细胞之间的连结、植物细胞和细菌细胞的细胞壁以及细胞表面的一些特化结构如微绒毛和鞭毛等，则是细胞表面的组成部分或特化产物。许多细胞的细胞外被之外常常附着有细胞外基质，主要是细胞分泌的含糖的大分子，如糖蛋白、蛋白多糖等等。它们与细胞外被的糖脂、糖蛋白难以区分其界限。在功能上细胞表面可以保护细胞，使它有一个相对稳定的内环境，以进行各种生理活动。此外，细胞内、外物质和能量的交换，信息的识别和传递，细胞的运动，细胞增殖的接触性抑制等也都与细胞表面有关。膜抗原（包括血型抗原）、一些特异性受体和一些与细胞表面活动有关的酶都埋藏在细胞被中，对细胞的某些功能起着重要的作用。

流体镶嵌模型

1. 极性的亲水头
2. 非极性的疏水尾部
3. 嵌入蛋白

【细胞被】又称糖萼。质膜结构的一部分。存在于细胞表面，指质膜中的糖蛋白和糖脂向外伸出的糖链部分，但它有一定的独立性，如果去掉它并不会直接损伤质膜。其功能与分子识别、免疫反应、神经冲动的传递、激素受体和 cAMP 的代谢调节作用及血型抗原和酶的作用等，均有密切关系。

【细胞壁】植物细胞质膜外的一层厚的硬壁。植物细胞特有的结构，具有保护和支持作用，并与植物细胞的吸收、蒸腾和物质的运输有关。根据形成的时间和化学成分的不同，可分为胞间层、初生壁和次生壁。胞间层又称中胶层，位于两个细胞之间，主要成分是果胶，有很强的亲水性和可塑性，多细胞植物依靠它使相邻细胞彼此粘连在一起。初生壁是在细胞停止生长前，由原生质体分泌形成的，存在于胞间层内侧，主要成分是纤维素、半纤维素和果胶。次生壁是细胞停止生长后，在初生壁内侧继续积累的细胞壁，主要成分是纤维素及少量半纤维素，木本植物还有木质素，较

坚硬，能起增强机械强度的作用。细胞壁不是均匀增厚的，初生壁上有凹陷区称为初生纹孔场，在其上面分布许多小孔，细胞的原生质丝（又称胞间连丝）通过小孔与相邻细胞的原生质体相连。

【原生质】细胞的全部物质。包括质膜、细胞质和细胞核。组成原生质的最主要成分是 C、H、O、N 等 4 种化学元素，约占细胞全重的 90% 以上；其次有少量 S、P、Na、Ca、K、Cl、Mg、Fe 等八种元素。此外，还有极微量的其他元素如 B、Si、V、Mn、Co、Cu、Zn、Mo 等。原生质中的各种化学元素互相结合，构成大小不同的各类分子，如水、蛋白质，DNA、RNA、脂类、糖类有机化合物和各种无机化合物。水是原生质中含量最多的成分，平均约占原生质全重的 85%。细胞中各种代谢反应都在水介质中进行。在细胞中，水不仅以自由水的形式存在，而且还与许多其他物质的分子结合，以结合水的形式存在。在组成原生质的有机化合物中，各种组织细胞都是蛋白质占干重比例最大，脂类次之。组成原生质的物质，其分子种类繁多、大小不等，但都组合成 3 种基本的结构状态，即膜状，线（纤维）状和颗粒状，再由它们组成相应形态的细胞器或内含物，形成各种亚显微结构和超显微结构，这些结构存在于原生质的复杂的胶体溶液中。可见原生质是由复杂的胶体溶液（其中也有真溶液）和各种亚显微及超显微结构组成的、不断活动和更新的、有动态结构的生命物质。这些结构保证了各种物质代谢和能量代谢过程有秩序地、高效率地进行。

【细胞质】细胞中核以外、质膜以内的原生质。细胞质不是匀质的，其中包含着许多有形结构称为细胞器。此外，还包含一多相胶体，称为基质或细胞溶质。基质含有水分、大分子链、分子集合体、酶、

代谢产物以及可溶性产物前体物等。

【细胞外基质】由细胞分泌到胞间隙中的物质。构成细胞外基质的分子种类较多，大致可归纳为 4 类：胶原、非胶原糖蛋白、弹性蛋白及氨基聚糖和蛋白多糖。这些大分子提供了高度有组织的网架。它们或者作为基膜平展于上皮及内皮细胞之下，或围绕在细胞周围，或者作为细胞间质围绕着间质细胞（如软骨细胞及成纤维细胞）。细胞外基质的功能有：（1）细胞外基质在组织中有支持作用；（2）细胞外基质的大分子与细胞表面及细胞内的某些分子作用，形成结构和功能的连续统一体，可以控制细胞的形态，代谢、运动、生长及分化。此外，细胞外基质还与许多病理过程，如肿瘤的转移、糖尿病、及致病微生物感染的选择性有关。

【细胞膜受体】镶嵌在膜上的一类特殊蛋白质。受体是一种能够识别和选择性结合某种配基的大分子，与配基结合后，产生化学的或物理的信号，以启动一系列过程，最终表现为某种生物学效应。受体都是蛋白质大分子。细胞膜受体能够有选择地与胞外环境中的特定物质如抗原、病毒、激素和药物等相结合，也能识别传入细胞的信息，并能将外来信号转换为细胞内部信号，以诱发、改变或调节细胞的活动，使细胞的功能和能量代谢朝着一定的方向变化。由于细胞膜受体的结构不同，接受的化学信号也不同，所引起的细胞内变化也就不同。受体分子至少含有两个结构或功能区域，即与配基结合的区域及产生效应的区域。一般将膜受体分为 3 个功能结构部分：（1）鉴别器或分辨部，是受体蛋白朝向细胞外的部分，能识别外界的化学信号，一般是糖蛋白中的糖链部分；（2）传导部（或转换器），其作用是将分辨部所接受的信号转

换为蛋白质的构型变化，传给效应部；(3) 效应部（效应器）是朝向细胞质的部分，它的构型变化，引起细胞内部产生一定的变化，使细胞在接受外界化学信号后产生一定的效应。效应器蛋白一般有酶的活性，如腺苷酸环化酶、鸟苷酸环化酶等。受体接受信号前，这些酶无活性，受体与化学信号结合后，通过转换部使这些酶激活，从而引起细胞内相应底物的变化。受体的 3 部分可以是不同的蛋白质，也可以是同一蛋白质的不同亚单位。受体的数目在不同的细胞中差别很大，一般为 10000—20000 个，平均分布于整个细胞表面或集中于膜的一个局部区域。受体分子本身也要不断代谢更新。在绝大多数细胞的质膜上，普遍有两大类受体。一类为肾上腺素能受体，当它们被激动时，通过激活腺苷酸环化酶的作用使细胞内 cAMP（环—磷酸腺苷）浓度增加。另一类为胆碱能受体，当它们被激动时，通过激活鸟苷酸环化酶使细胞内 cGMP（环—磷酸鸟苷）的浓度增高，cAMP 和 cGMP 浓度的改变，可引起细胞中不同的酶系的一系列连锁反应，导致细胞内不同的生理效应。

【细胞识别】一般指细胞通过其表面的特殊受体与胞外的信号物质分子或配基选择性地发生相互作用，从而引致细胞内一系列生理生化变化，最终导致细胞的总的生物学效应的过程。细胞识别现象普遍存在于动植物及微生物中并普遍存在于生命活动的各个方面。在生物界中，细胞识别现象是广泛存在的。生物体内具有各种识别系统，它们是机体对内外环境的一种应激反应系统，机体通过这些识别系统“排斥异己”、“保护自己”维持正常生命活动。例如高等动物和人体内的免疫系统的防卫功能主要由淋巴细胞来完成。细胞识别过程多数是指在细胞表面进行的活动，其识别物

质存在于细胞的表面，但细胞识别的分子基础因其复杂性而尚未明了。但已有不少证据指明，细胞表面复合糖（糖蛋白、糖脂及蛋白聚糖）的糖链结构参与识别作用。此外，细胞表面存在的凝集素（糖结合蛋白质）及其相应受体、糖基转移酶及其底物，或糖苷水解酶及其底物均可作为互补的分子对参与细胞识别。

【细胞连接】由细胞膜及其周围细胞间基质特化而成的细胞间连系结构。高等生物的组织是由无数细胞构成的，相邻细胞之间必然要进行多种方式的接触和连接。细胞连接是具有一定形态结构的细胞间的连系结构。是相邻细胞局部特化所形成的结构。这种结构对于完成高等生物的发育和正常的生理功能是必不可少的。这种结构包括质膜特化部分、质膜下胞质部分及质膜外胞间部分。根据功能细胞的连接可分为粘合连接、不通透连接和通讯连接。

【粘合连接】又称粘着连接。相邻细胞之间的一种机械连接。主要形式是桥粒。包括带状桥粒、点状桥粒和半桥粒。广泛存在于各种上皮细胞，如心肌、膀胱、子宫及皮肤表皮等处。桥粒的作用在于使相关的细胞群作为一个结构单位来执行功能。

【点状桥粒】又称粘合斑。是相邻细胞间钮扣样的接触点，成点状位于两个相邻细胞的膜上，直径 0.5 微米，作用犹如铆钉，直接将两个细胞铆在一起。在电镜下可见，点状桥粒区的相邻细胞膜之间存在 20—25 微米的间隙。其间隙中充满中等密度的丝状物，主要是高度唾液酸化的糖蛋白，起粘连质膜的作用，把相邻细胞的质膜固着在一起。此外，还含有钙。间隙中间有一条不连续的致密间线，可能代表相邻细胞各自提供的粘着物质，如糖链的重

搭部分。连接处细胞膜内侧胞质面，有对称而平行的电子密度高的由蛋白质构成的两个圆盘形斑，称胞质斑（或称胞质板）。斑内侧细胞质中，有大量的张力纤维汇集在胞质斑后又折回细胞质中并反折成绊，张力纤维绊通过更细的连接丝，穿过胞质斑及质膜而衔接。因此，细胞质内的细胞骨架通过桥粒与其相邻细胞的骨架连成一体，形成连续的纤维网，形成上皮细胞的大梁支架结构，把细胞结合为一整体并保护上皮不易因机械力而损坏。通常在易受牵拉的组织结构中，桥粒最为丰富，如口腔、食道、皮肤等处。

【不通透连接】不仅连接相邻细胞，而且封闭细胞间隙的一种连接方式。即除使相邻细胞发生机械连系外，还封闭了细胞间隙，使任何分子不能通透。包括紧密连接和隔膜连接。紧密连接又称闭锁小带，多见于表皮细胞游离缘相邻面之间的连接。在紧密连接部位，两相邻细胞的质膜外叶融合，中间没有空隙，其结构可能是质膜内颗粒呈线形排列形成索条，两相邻质膜的索条并列，紧密接触所致。紧密连接可阻止大分子在细胞间隙中自由穿行，迫使其通过细胞内部途径进行。隔膜连接仅存在于无脊椎动物，在电镜超薄切片中，可见其结构是在 15—17 纳米宽的细胞间隙中，规则排列着一定间距的隔膜，这些隔膜可能是由蛋白质颗粒组成的。

【通讯连接】在相邻细胞间形成的通讯连接。有两种类型：缝隙连接和化学突触。化学突触是由前突触细胞发放化学信号（如神经递质），经扩散穿过突触缝隙而对后突触细胞施以信号。缝隙连接又称间隙连接，是最普通的细胞连接。其特点是：在细胞膜之间有一间隙（2—3 纳米宽），充满颗粒性物质，这些“颗粒”实际上

是一些细微的通道，将两个细胞的细胞浆直接连接起来，使小分子物质在细胞间能自由交换。每个颗粒是由 6 个亚单位构成的“连接小体”，连接小体成簇，并两两相对，分别包埋在两相邻的质膜中。两个相对的连接小体之间的质膜保持 2 纳米的缝隙，每个连接小体的中央有直径为 20 埃的孔道，两小体间距为 90—100 埃。缝隙连接在细胞间的通讯活动中起着重要的作用，相邻细胞连接小体中央的低阻抗渠道，直接沟通两个偶联细胞的细胞质，使细胞的小分子和离子能自由通过，它是细胞间进行电交联的主要部位。

【胞间连丝】植物相邻细胞间穿通细胞壁的细胞质通道。是植物细胞所特有的连接结构。植物细胞因外表有细胞壁，而细胞之间又有一层胶状物（即中胶层又称胞间层）把两个相邻细胞的壁粘合在一起，就把两个相邻细胞的膜分隔开，但在细胞分裂时，当新细胞壁物质形成时，尚留有薄膜区域，使两个相邻细胞的细胞质连丝仍保留在两个子细胞之间，这些细胞质桥叫胞间连丝，它们是植物细胞间的连接。胞间连丝不是质膜结构。在电镜下可见相邻细胞的质膜在胞间连丝处穿过细胞壁相连围成了一条细胞质通道。在通道中有一条由蛋白质亚单位组成的小管称为链管（或称连丝小管），小管的直径约 0.02 微米，两端分别同各细胞的内质网膜相连。因此小管本身可能是发生了变态的内质网膜结构，是内质网的衍生物。在连丝小管的中央还有一条电子密度深的线，称为中央棒。胞间连丝是在细胞分裂时细胞板形成后保留的结构，是一种动态结构。在有胞间连丝的植物中，大多数细胞间都有胞间连丝，胞质可在其间流动，使整个植物体成为共质体。胞间连丝的主要功能是：细胞间进行物质运输的通道；可进行信息和刺激

的传导；对细胞的生长发育和分化有一定的影响。

【细胞器】细胞质中有一定形态结构和特定功能的、膜性或非膜性的结构。凡是在光学和电子显微镜下能够分辨出来的，具有一定形态特点、执行特定功能的结构，都是细胞器。其中有的是有界膜的细胞器，如内质网、高尔基器、溶酶体、线粒体、叶绿体、过氧化物酶体（或微体）等；有的不具有界膜，如核蛋白体（又称核糖体）、中心粒及微管、微丝和中间纤维等。所有这些细胞器在细胞质的基质中各由其特异的蛋白质组成。各种细胞器除了完成一定的功能外，细胞器之间，以及细胞器与基质之间，又彼此互相依存，高度协调地进行各种细胞内的代谢过程及生命活动。

【核糖体】又称核糖核蛋白体。在各类细胞中普遍存在的电子密度较浓的，由核糖体 RNA (rRNA) 和蛋白质构成的无包膜的圆形致密颗粒。直径 150—200 埃 (Å)，在电镜下显出有一定的三维形状，由大小两个亚基组成。大亚基略呈半圆形，直径约 23 纳米，有一侧伸出 3 个突起，中央有一凹陷。小亚基呈长条形， 23×12 纳米，约于 $1/3$ 长处有一细的缢痕，使小亚基分为大小两个区域。大小亚基结合在一起时，凹陷部位彼此对应，从而形成一隧道（见图）。在进行翻译活动过程中，mRNA 即穿行在隧道中。此外，在大亚单位中，还有一垂直于隧道的通道叫中央管，在蛋白质合成时，新合成的多肽链经中央管穿出，使多肽链受到保护，不致受蛋白质水解酶的分解。核糖体的大小两个亚基的结合与分离受镁离子 (Mg^{2+}) 的影响较大，降低 Mg^{2+} 浓度（低于 0.001M/L）时，可使两者分离，当 Mg^{2+} 浓度大于 0.001M/L 时，则大小亚基结合成单核糖体，如果 Mg^{2+} 浓度大于 0.01M/L，则可使两个单体

聚合成二聚体。核糖体可以散在细胞质中，称游离核糖体，也可附着在内质网膜表面，称膜旁核糖体，参与构成粗面型内质网。在进行蛋白质合成时，单核糖体被 mRNA 细纤丝将它们串联在一起，成为合成蛋白质的功能团，称为多聚核糖体。核糖体在真核细胞、原核细胞、线粒体和叶绿体中的大小各不相同。真核细胞的细胞质核糖体为 80S 类型，原核细胞的为 70S，线粒体为 55S，叶绿体的为 70S。核糖体的主要化学成分是 rRNA 和蛋白质。核糖体的主要功能是参与蛋白质的生物合成。细胞内的核糖体可以合成两种类型的蛋白，一是结构性蛋白（内源性蛋白）；二是输出蛋白（分泌蛋白）。结构蛋白主要由游离在细胞质中的核糖体合成，输出蛋白主要由膜旁核糖体合成。

核糖体模型

a. 小亚基单位 b. 大亚基单位 c. 核糖体

【内膜系统】所谓内膜是与包在细胞外面的质膜相对而言的。内膜系统是细胞中由生物膜构成的细胞器，是在结构上、功能上以及发生上有着密切联系的复杂体系。主要包括核被膜、内质网、高尔基器、溶酶体、微体（如过氧化物酶体）以及线粒体、叶绿体等。内膜系统是真核细胞所特有的，主要处于细胞基质的环境中，是细胞完成各种复杂的生命过程所必需的结构。

【内质网】细胞质中由膜（一个单位膜）所形成的一些形状、大小

不同的相互连通的小管、小囊（潴泡）或扁囊所组成的一个连续的网状膜系统。小管、小囊、扁囊是内质网的“单位结构”。内质网依其表面附有核糖体与否可分为粗面内质网（或颗粒内质网）及光滑内质网（或无颗粒内质网）两种类型。除哺乳动物的成熟红细胞外，几乎所有真核细胞内均有粗面内质网。粗面内质网多由扁平囊所构成，在其表面有核糖体附着。光滑内质网多由小管或小囊构成，外表面无核糖体附着。内质网是细胞内蛋白质、糖类和脂类的重要合成基地，同时对于细胞内物质贮藏及运输、物质的吸收和输入、细胞质支架等方面也起着重要的作用。两种内质网都可参与脂类的合成，但具体过程各有差异。粗面内质网主要合成分泌蛋白和少量细胞自身所需要的结构蛋白。光滑内质网主要合成固醇类激素以及对药物有解毒作用，也参与糖元的合成与分解。内质网和核外膜相连，而且内质网的管或腔与核周腔相通，并可观察到与核质的连通关系。

【高尔基器】 又称高尔基复合体。在高等植物细胞中又称网体（dictyosome）。在结构上，高尔基器基本上由扁平囊、大囊泡和小囊泡组成。扁平囊是它的特征性结构，一般由 3—7 个扁平囊重叠在一起成为高尔基体或高尔基堆，其周围常结合有一些小管和大小不同的囊泡。扁囊形状略为弓曲，使形成的高尔基器明显地具有一个凸面和一个凹面，凸面与小囊小管相连接形成网状，称为形成面（或顺面、未成熟面）；凹面常见有大囊泡，是分泌产物集中的地方，称为成熟面（或反面、分泌面）。形成面附近有小泡，是由临近高尔基器的内质网以出芽方式形成的，起着将内质网内合成的蛋白质等物质运输到高尔基器的作用，故又称运输小泡。位于成熟面的大囊泡，由成熟面的扁平囊末端膨胀然后断离、脱落

形成，含有扁囊的分泌物，故又称分泌泡。高尔基器在内膜系统中处于中介地位，它的主要功能是参与细胞的分泌活动。细胞的分泌活动包括蛋白质（或糖和脂类）的合成、能量的提供、分泌物的浓缩、凝结、加工和成熟，最后通过膜运动排出细胞。高尔基器主要负责将内质网合成的蛋白质作进一步的加工、修饰和浓缩，形成各种分泌物，运往细胞的不同部位，或分泌到细胞外。各种分泌蛋白、糖蛋白、蛋白多糖、糖脂、细胞膜蛋白、植物细胞壁物质、精细胞顶体以及溶酶体中的酶，都是由高尔基器加工、分泌的。高尔基器在细胞中的位置比较恒定，在外分泌腺的分泌细胞中，多集中在核附近；在植物细胞与无脊椎动物细胞中则分散在细胞质中。高尔基器的数目决定于细胞类型、分化程度和细胞的生理状态。

【溶酶体】真核细胞质中的一种球形细胞器。由外表一层单位膜所包围的囊状结构，直径 0.025—0.8 微米 (μm)，内含 50 多种酶，其中包括脂酶、蛋白水解酶、核酸酶、磷酸脂酶、糖苷酶和硫酸脂酶等，这些酶的最适 pH 为 5.0，均为酸性水解酶。溶酶体在形态上具有多样性和异质性，按其是否含有作用底物而分为初级溶酶体和次级溶酶体。前者来源于高尔基器或临近于高尔基器分泌面的光滑内质网的特化区，其内只含水解酶，无作用底物，其内的酶无活性。次级溶酶体内含有水解酶和相似的作用底物，是由初级溶酶体与吞噬小泡或胞饮小泡或细胞内受损的细胞器（如线粒体、内质网等）相融合后形成的，其内所含的酶有活性，可以分解其内的物质，是一种正在进行和已经进行消化作用的溶酶体。溶酶体的主要功能是把各种大分子物质分解为小分子，然后透过膜渗出到细胞基质中为细胞代谢所利用。此外，还有其他功能，如

动物饥饿时，消化损伤或老化的细胞器保证细胞不致死亡并起消除作用；动物发育和变态过程中，组织的退化（如蝌蚪尾巴的吸收）也是由于溶酶体的作用。精子的顶体是一种特化的溶酶体，在受精过程中其内的酶释放出来，可起到溶解卵膜的作用。一些疾病如肺结核、矽肺、类风湿关节炎等也与溶酶体有关。

【过氧（化）物酶体】一种由单层膜包被的细胞器。也称过氧化酶体或微体。是由一个单位膜包被构成的卵圆形或圆形小体，直径一般为 0.5 微米 (μm)，因其体积微小而称为微体。微体中含有氧化酶和过氧化氢酶。所以又称为过氧化酶体。过氧化酶体普遍存在于动物和植物细胞中，在构造上，在单位膜包围的小体中含有极细的颗粒状物质，中央常有一高密度的核心，是有规则的结晶结构。在其化学组分上，含有多种催化生成过氧化氢的氧化酶，以及分解过氧化氢的过氧化氢酶。现已知有 40 多种酶。每个细胞中所含的氧化酶的成分因细胞类型、发育时期及生理状态而有所不同。在同类细胞中，过氧化酶体的数目及类型也有差异。在植物细胞中除含有过氧化酶体外，还含有乙醛酸循环体，内含有同乙醛酸循环有关的酶，及三羧酸循环中的几种主要的酶。乙醛酸循环体可使贮存在种子中的脂肪发生 β 氧化生成乙醛辅酶 A，再经乙醛酸循环及磷酸烯醇丙酮酸及糖酵解途径转变为糖。这是糖的异生作用。另有一种过氧化酶体参与叶片的光呼吸作用，在代谢功能上与叶绿体和线粒体有密切联系。肝和肾细胞中的过氧化酶体能起解毒作用。

【线粒体】真核细胞中与能量代谢有关的细胞器。除成熟的红细胞外，普遍存在于真核细胞中。线粒体是由内、外两层彼此平行和

高度特化的膜包围而成的囊状物，多为卵圆形颗粒或短棒状，形态上常随细胞种类和生理状态而改变，其大小、长短也相差很大。线粒体数目的多少与其机能状态有关。植物细胞中线粒体的数目常比动物细胞中的要少。线粒体的内外膜都是典型的单位膜，内膜将线粒体分隔为内、外两室，外室处于内外两膜之间，又称膜间腔。内室是由内膜所围成的间隔，其内充满基质，基质中含有脂类、蛋白质、环状 DNA 分子、RNA、核糖体及一些电子致密嗜锇酸的基质颗粒，又称线粒体内颗粒，可能具有调节线粒体内部离子环境的功能。线粒体是细胞进行呼吸作用的主要场所，其主要功能为：（1）参加三羧酸循环中的氧化反应：三羧酸循环酶系存在于线粒体基质中。蛋白质、脂肪和糖首先消化成为氨基酸、脂肪酸、甘油被细胞摄取，在细胞内进一步降解再转到线粒体基质形成乙酰 CoA，进入三羧酸循环，被氧化成 CO_2 。（2）电子传递与能量转换：三羧酸循环中脱下的氢经线粒体内膜上的电子传递系统即呼吸链进行传递最后传递给氧，在这个过程中，能量较高的电子经过电子传递降到能量较低的水平，最后电子和 H^+ 结合氧形成水，所释放出的能量以高能磷酸键形式通过 ADP 的磷酸化生成 ATP 储存于体内，整个过程称为“氧化磷酸化”。线粒体含有自己的脱氧核糖核酸与核糖核酸，脱氧核糖核酸在遗传上有相对的独立性。线粒体的繁殖方式主要是分裂，也可由出芽繁殖。

【质体】植物细胞中所特有的含有色素或储存物的小体。可分为具色素的和不具色素的两种类型。具色素的质体有叶绿体和有色体。无色素的质体称白色体，包括合成淀粉的造粉体，合成脂肪的造油体和造蛋白体等。叶绿体和白色体都由前质体分化而来。前质

体为卵圆形或球形小体，存在于根的生长区和芽的分生组织细胞中，大小一般为 $(0.5—1.0)$ 微米 $\times (1.0—1.5)$ 微米 (μm)，外面由双层膜围成，内部为无结构的基质，含有 DNA 丝、核糖体和淀粉或其他糖类物质。在未发育的前质体中，有小管状的类囊体原基。原质体的进一步发育主要随光照条件而异。在光照条件下，内膜内折形成小泡或小管，并与内膜断开分散在基质中，逐渐生长，排列成扁形的平行的双层膜，此即为片层或称类囊体。片层排列成行，在有的部位排列紧密，叠置成多层，形成基粒，同时形成叶绿素，原质体即发育成叶绿体。在暗处或光线很弱的地方，前质体形成的小泡聚集在一起，发育为一个或几个前片层小体，呈晶格状，由许多相互规则地连接在一起的小管组成。这种类型的质体称为黄化体或白色体。叶绿体和白色体可随光照条件的改变互相转化。当绿色植物在暗环境中生长时，类囊体发生退化，失去典型的结构，形成了前片层小体，这时叶绿体变成了白色体。在光照条件下，白色体可变成具有正常结构和功能的叶绿体。植物不受光照的部分，前质体中有淀粉沉积，从而变成了造粉体；也可以积累非光合色素，而变成有色体。

【圆球体】植物细胞中存在的一种细胞器。由一层单位膜所包围的球状颗粒。内部有细微的颗粒结构。其化学组成主要是脂类和蛋白质。圆球体含有水解酶和脂肪酶，与溶酶体的性质相似，但它有积聚脂肪的功能。圆球体来源于内质网。内质网的一端因积聚脂类物质和蛋白质而膨大，然后从内质网上脱离下来而成为前圆球体，前圆球体进一步增大体积成为圆球体。

【糊粉粒】细胞中蛋白质的贮藏形式。是无定形的蛋白质被一层膜

包围所形成的圆球状颗粒。糊粉粒较多地分布于种子的胚乳或子叶中，有时分布在特殊的细胞层，如谷类籽粒胚乳最外层的细胞中就含有大量糊粉粒，称糊粉层。

【液泡系】细胞质中的所有液泡结构。液泡是植物细胞所特有的结构。在成熟的细胞中有一个很大的液泡，在分生组织的幼小细胞中为小而分散的球形膜结构。随着细胞生长，液泡吸水长大并合并成一个中央大液泡。液泡被一层膜包被，其内充满细胞液，主要成分是水 and 代谢物如糖类、脂类、蛋白质、有机酸、无机盐和酸等。液泡膜具有特殊选择透性，能使大量物质积累在液泡中，使细胞液保持相当浓度，对于维持细胞渗透压和膨压有很大关系。中央液泡含有多种酶（主要是水解酶），在一定条件下能分解液泡中的储藏物质，使之重新参加各种代谢，液泡来源于内质网，由内质网分离出前液泡，由它长大发育成液泡。用电镜观察细胞质，凡是由膜包围的小泡或液泡如高尔基液泡、溶酶体、圆球体、微体、糊粉粒、自体吞噬泡、吞噬泡、胞饮泡、中央液泡等都可称液泡系。

【细胞骨架】存在于一切真核细胞胞质中的、高度复杂有序的蛋白质纤维网络结构系统。它们具有特定的化学组成、分布及形态特点，多数具有活跃的增减和重组行为，主要担负细胞支持、运动、协调及信息传递等功能。是真核细胞中最新发现的一类细胞器。细胞骨架主要包括微管、微丝、中等纤维和微梁网格。

【微管】真核细胞所特有并普遍存在的管状结构。大多数见于细胞质内，也是纤毛、鞭毛及中心粒的主要组成部分。微管是直径 24—

26 纳米 (nm) 的管状纤维, 长度变化很大。是由 α 和 β 微管蛋白和少量微管结合蛋白的聚合而形成。微管蛋白 (tubulin) 是构成微管的主要蛋白, 有 α 和 β 两种类型, 分子量为 55000, 两个分子联结在一起形成二聚体。二聚体纵向相连组成一条原纤维, 13 条原纤维形成中空的圆管。微管通常是直的, 但有时也呈弧形。微管内径 15 纳米左右, 外径约为 25 纳米, 壁厚约为 5—6 纳米。微管并不是光滑的, 常覆盖着刺状的结构。微管可装配成单管、二联管 (在纤毛和鞭毛), 或三联管 (在基体和中心粒)。大多数微管分布于胞质中, 其走向与细胞的形状密切相关。细胞质的微管很不稳定, 间期细胞的微管从核附近辐射发出, 终止于细胞表面附近, 或者以不规则的束状与质膜走向平行。但当细胞接近有丝分裂时, 细胞质内原先存在的微管结构消失, 出现新的微管结构——纺锤体。有丝分裂末期纺锤体微管消失, 微管出现在两个未完全分开的子细胞之间, 子细胞完全分开时, 通常的细胞质微管结构恢复。哺乳动物细胞微管结构常与细胞周期平行地存在着周期性变化, 但存在于中心粒、鞭毛和纤毛中的微管则比较稳定。胞质中的微管既可解聚为微管蛋白亚单位, 又可重新聚合成微管。由于两端的聚合和解聚速度不等, 故微管的聚合是不对称的, 结果导致一端的长度生长快, 另一端生长慢, 甚至缩短, 前者为 (+) 极, 后者为 (-) 极。微管广泛地存在于动植物细胞质中, 其功能为: (1) 构成细胞内的网状支架, 形成和保持细胞形状; (2) 参与细胞的收缩和细胞的伪足运动, 成为纤毛和鞭毛等运动器官的基本结构成分并产生相应的运动; (3) 细胞有丝分裂时, 形成纺锤体和细胞板; (4) 与细胞内物质运输、细胞分泌和信息传

递及细胞质的运动变化等均有密切关系；(5) 构成细胞壁；(6) 与细胞分化有关。

【微管组织中心】简称 MTOC。存在于细胞内的，使微管开始聚合的特定区域。如中心粒、着丝点、鞭（纤）毛基体等，都是微管组织中心。中心粒和基体在结构上相似，有时可以互相取代，但二者组织微管的机制不同。中心粒是主要的微管组织中心，但真正起微管组织作用的不是中心粒本身，而是中心粒周围的蛋白或与之相当的物质。微管组织中心通过什么机制使微管蛋白聚合成微管，现在还不清楚。

【中心粒和中心体】存在于动物及某些藻类和菌类细胞中的由微管构成的圆筒状细胞器称中心粒。中心粒与其周围物质所形成的复合物称中心体。中心粒位于间期细胞核附近或有丝分裂细胞的纺锤体极区中心。中心粒的结构通常是一对互相垂直的、由微管构成的圆筒状小体，每个圆筒状小体的直径为 0.15—0.25 微米 (μm)，长度随细胞类型而异，变动于 0.16—0.56 微米之间。筒壁为 9 个与径向成一定角度的三联体微管，从横断面看像一只风车（见图）。在一对中心粒的周围是蛋白质或与之相当的物质，起微管组织作用。中心粒存在于大多数动物细胞（无纤毛或鞭毛的原生动物除外）和低等植物细胞如藻类（红藻除外）、藓类和蕨类等细胞中。种子植物细胞中没有中心粒。

中心粒横切面示意图

【纤毛和鞭毛】广泛存在于动物和低等植物细胞中的运动结构。常见于许多原生动物、精子或某些上皮细胞。其结构由 3 部分组成，即细胞表面突出的细长柱状部分，周围包着细胞膜，内部是由微管组成的轴；埋在细胞膜之下的基体（或称基粒）以及柱状部分和基体之间的过渡区。纤毛和鞭毛轴的结构相同，均具有“9+2”的结构（见图），即中央有两条微管，周围有 9 条二联管，以中央微管为中心等距离分布在周围，称为周围微管。中央的两条微管之间有架桥联系，外包中央鞘，称为中央微管。周围二联管由 A 管与 B 管构成，A 管由 13 条原丝组成，B 管由 10 条原丝组成，与 A 管共用 3 条原丝。A 管上伸出两个臂，称为动位蛋白臂（dynein arms），其外臂末端有钩，内臂末端则无，而且与相邻二联管中的 B 管间有一丝相连，称为轴丝。由二联管的 A 管向中央鞘伸出突起，称为辐条，其末端稍膨大，称辐条头（见图）。基体部分除了微管 A 和微管 B 外还有微管 C，由此构成了微管三联体，中央没有微管和鞘，为“9+0”结构，与中心粒的结构相似。纤毛和鞭毛运动表现为波动或摆动，即在它们的某些部分发生弯

曲运动。弯曲运动是由相邻二联管之间通过臂的作用进行滑动以及辐条头与中央鞘之间进行接触和解离实现的。所需能量由 ATP 提供。纤毛、鞭毛有多种运动形式，并且是高度协调的，受细胞控制。

鞭毛或纤毛（横切面）

1. 轴丝 2. 亚丝 B 3. 亚丝 A
4. 轴 5. 桥 6. 纤毛膜 7. 臂
8. 辐头 9. 中央鞘 10. 中央微管

【动力蛋白】又称动位蛋白。构成纤毛或鞭毛动位蛋白臂的组分。是一种高分子 ATP 酶，分子量 300000—400000（见图）。当它溶解后能在微管以相同的位置分布并重新连合。动位蛋白具有 ATP 酶，在结构上分为基部、颈部和头部。基部结合于二联管的 A 管上，颈部柔韧与头部相连。头部具有 ATP 酶活性，与相邻一组二联管的 B 管具有结合活性，而且由于与它相连的颈部柔软，所以头部的方向可以改变。纤毛与鞭毛的运动与动位蛋白具有 ATP 酶活性密切相关。

动力蛋白结构

1. 微管 2. 动位蛋白头部

【微丝】又称应力纤维。普遍存在于真核细胞内的纤维结构。直径5—7毫微米，可以成束也可以弥散地分布在细胞之中。其主要成分是肌动蛋白（actin），分子量为43000，有纤维型和球型两种类型。微丝由两列球型肌动蛋白单体联合而成，并相互扭缠成双螺旋状。在某些高度分化的细胞中（如肌肉细胞），形成特定的稳定结构。在细胞周期不同阶段或细胞流动时，其形态、分布可以发生改变，非肌肉细胞的微丝也是一种动态结构。微丝的化学组分是一种收缩蛋白，主要成分是肌动蛋白和肌球蛋白（myosin），此外，还有原肌球蛋白与其他有关蛋白等。肌动蛋白在体外可以装配成微丝。新的球型肌动蛋白单位加到微丝的两端可造成微丝的延伸，但其中一端延伸的速度较另一端快得多，称为正极。在适当情况下，微丝也可以表现出一端因加入亚单位而延长，另一端因亚单位脱落而减短。微丝具有的功能有：（1）构成了细胞支架，保持细胞的一定形态；（2）与细胞内运输及细胞分泌活动有关；（3）与细胞活动（如细胞分裂、内吞、外排、胞质分裂、染色体

运动、细胞移动、细胞质运动等) 有关。

【中等纤维】胞质中的中空管状结构。是一类在形态上十分相似，而化学组成上有明显差别的蛋白纤维。可分为 5 种类型：(1) 角质纤维蛋白，只在上皮细胞或外胚层起源的细胞中表达；(2) 波形纤维蛋白，在间质细胞和中胚层起源的细胞中表达，分布较为广泛；(3) 结蛋白，在成熟的肌肉细胞中表达；(4) 胶质纤维酸性蛋白，只在中枢系统的胶质细胞中表达；(5) 神经纤维蛋白，在中枢和外周神经细胞中表达。中间纤维蛋白的典型特征是具有一个约 300 氨基酸残基的、在长度和顺序上都非常保守的 α -螺旋杆状区，它的两端是非螺旋的头部区（氨基端）和尾部区（羧基端）。头尾两端高度可变，具有不同的组成和化学性质。中等纤维 (intermediate filament=IF) 也可进行自我装配，首先是形成双股超螺旋，两对超螺旋再形成四聚体，是在溶液中存在的最小稳定单位，两个四聚体再形成一根亚丝，由 4 根亚丝盘绕成一根完整的中等纤维。中间纤维的装配遵从半分子长度交错的原则。中等纤维在胞质内形成一个完整的网架系统，它可以与细胞膜和胞外基质联系，在胞内与细胞核表面和核基质直接联系，中间与微管、微丝及其他细胞器联系。所以中间纤维在细胞形态的形成与维持，胞内支撑、细胞的位移和铺展、胞内颗粒的运动，细胞之间的连接和细胞器及核的定位等方面，均起着重要的作用。另外，中等纤维蛋白本身是一种信息分子，可能与 DNA 的复制和转录有关，而且可能导致核小体解旋。

【拟核】原核细胞如细菌和蓝藻，它们的遗传物质集中存在于细胞质的一个或几个区域中，称核区。内含盘绕的细丝，这些细丝是不结合蛋白质的裸露的环状 DNA 双螺旋。它们的外面没有核膜，没有固定形态，结构很简单也无核仁，比较原始，故称原始形态的核或拟核。

【细胞核】真核细胞遗传信息的储存、复制和转录的主要场所。是真核细胞中由双层膜包被的最大的细胞器。细胞核的形状随细胞形态、代谢状态或发育阶段的不同而有差别，一般为圆形或椭圆形，但也随细胞形态的不同有其他形状如立方形、多角形、带状。嗜中性白细胞中为多叶核；蚕丝腺细胞核为分枝状；平滑肌细胞核为杆状。核的大小在不同生物有所不同，高等动物细胞核的直径一般为 5—10 微米，高等植物细胞核的直径一般为 5—20 微米，低等植物细胞核的直径一般为 1—4 微米（见图）。大多数高等生物细胞含单核，有的生物细胞中则有 2 个或多个核，如动物肝脏细胞中有几个核。哺乳动物红细胞及高等植物成熟的筛管中没有核，是特殊分化的结果，它们只完成某一种功能，不能生长、繁殖而且寿命短。核的结构在细胞周期的不同阶段变化很大。间期核主要由核被膜、核层、染色质及核仁组成。核仁一般为一个或多个。核内充满了由非组蛋白组成的网络状的核基质。到有丝分裂中期，核膜及核仁消失，染色质浓缩为染色体，在有丝分裂末期，染色体解螺旋又开始恢复为松散的染色质，而且核膜和核仁又重新出现。

细胞核结构示意图

1. 染色质 2. 核仁 3. 中心体 4. 微管
5. 核层 6. 核外膜 7. 核内膜 8. 核孔
9. 中等纤维 10. 粗面内质网

【核膜（被）】是细胞核与细胞质之间的界膜。由内外两层单位膜组成，厚度约 75 埃（ $\text{\AA}$ ）。外膜面向胞质，外表面上附有大量的核糖体颗粒，与粗面内质网相连通。内膜面向核质，表面无核糖体颗粒，其内表面有一层蛋白质细丝称为核层并与内膜相连。两层膜之间的腔称为核周腔，与内质网腔相沟通。核膜不连续，内外两层膜局部互相连接形成有规则排列的核孔，是沟通核质与胞质物质，并使二者相互交流的渠道。核孔占核表面积的 5—15%，其数目的多少在不同物种细胞中以及在不同的生理条件下有所差异。转录活性低或不转录的细胞中，核孔数目少，分化较低或合成较旺盛的细胞中核孔数目较多，而特化程度愈高，细胞中核孔的数目越少，如成熟精子的核膜上几乎无核孔。核孔不是一个单纯的孔，在孔的周围有一层贯穿核内外膜的物质称为环带或环管（annulus），与核孔一起构成核孔复合物（NPC=nuclear pore complex）。核孔对通过的物质有一定的选择性，核膜对细胞质和细胞核间的物质交换起控制作用，它是一个选择性渗透膜，可有效地阻挡极性分子通过，而小分子物质如单糖、氨基酸、核苷酸、

组蛋白、DNA 酶、RNA 酶以及水分子等可以自由通过膜，核膜上有 Mg^{2+} -ATP 酶，可能有主动运输的功能。除了物质运输外，核膜作为细胞质和细胞核之间的界膜对于稳定核的形状及化学成分起着极为重要的作用，同时核膜的出现使遗传物质 DNA 的复制，转录活动与 RNA 的翻译表达在空间和时间上得以分开。此外，核膜还是染色体和酶分子的支架和固着部位。

【核孔复合物 (NPC)】核孔及其周围的复杂结构的统称。核孔由内、外两层核膜的局部融合所形成，其结构非常复杂，在孔的周围有一层贯穿核内外膜的环状物质称为环带，与核孔一起称为核孔复合物。环带构成核孔的外壁，为不均一物质，由颗粒状物质构成。在核孔两端内、外口上、下两圈，各有 8 个对称排列的球状颗粒，称为孔环粒 (annular granules)，直径 15 纳米，在 8 对孔环粒之间还夹有 8 个边围颗粒 (Peripheral granules)，在核孔中央还有一个中央颗粒 (centre granules)，都为丝状结构，彼此之间有纤丝相连。可能是核糖核蛋白性质的物质。颗粒间充满无定形物质，是核与胞质之间自由扩散的屏障。孔环粒的直径为 100—200 埃 (Å)，核孔外围直径 1200 埃左右，内径为 600—840 埃，中心孔径为 300—500 埃。核孔复合物是核质与胞质之间分子及颗粒双向交换的重要通道，核内合成的生物大分子如 mRNA、tRNA、rRNA、核糖体亚单位通过核孔复合物进入胞质，胞质中合成的酶及蛋白质也通过 NPC 进入到核内。物质进入核孔并非完全靠自由扩散，这种物质交换有选择性。实验表明，核孔复合物中间存在一个直径约 9 纳米、长约 15 纳米、充满水溶液的柱状通道，直径大于 12.5—14.5 纳米的物质不能自由通过，要靠主动运输。

【核层】核被膜的内膜的内表面所存在的电子密度较高的、由交织的纤维蛋白所组成的一层物质。为蛋白质网络结构，厚度 10—20 纳米。是由 3 种分子量为 60000—70000 的多肽亚单位装配而成的。分别称为核层蛋白 A、B、C 或核层蛋白 α 、 β 、 γ ，其中核层蛋白 β 与核内膜上嵌入磷脂分子层中的特异蛋白质相结合，而核层蛋白 α 和 γ 同 β 亚单位相结合。核层的内层面向染色质，与染色质的特殊位点相结合，从而使染色质通过核层与膜连在一起。核层与核孔复合物相连形成复合结构。所以，在功能上核层对维持核孔的位置和核的形状以及维持染色体在核内的一定排列都起着重要作用。在有丝分裂前期末，核层磷酸化，核层蛋白从核膜释放出来，从而导致核膜崩解。有丝分裂末期核层去磷酸化，核膜又重新组成。

【染色质】组成染色体的核蛋白物质。是细胞核内能被碱性染料染色的物质。它随细胞周期的不同时期而呈现不同形态。在间期，核内染色质呈网状不规则形态结构，到有丝分裂期又凝集成染色体。染色质和染色体是同一物质在有丝分裂周期中不同阶段的运动形态。染色质是核内的遗传物质 DNA 与组蛋白、非组蛋白、RNA 等所形成的复合物。其中主要组分是 DNA 和组蛋白，两者含量之比近于 1 : 1，是稳定成分。非组蛋白是十分异质性的，在不同组织中含量的有所不同。同种生物的各类细胞中，DNA 含量是恒定的，说明遗传物质是相对稳定的。组蛋白可分为 5 种组分，即 H2A、H2B、H3、H4 和 H1。组蛋白在维持染色质结构和功能的完整性上起着关键性作用。从结构上看，由染色质到染色体存着四级结构，即核小体、螺旋管、超螺旋管和染色体。也有学者认为第三级结构应是由二级结构形成的绊环而不是超螺旋管。染色

质可分为常染色质和异染色质。

【核小体】又称核体。染色质结构是基本单位。染色质纤维由核小体重复串成。核小体由核心颗粒和连接部组成。核心颗粒是由组蛋白 H1A、H2B、H3、H4 各两分子，组成八聚体的扁圆形结构，外面缠有由 140—146 碱基对组成的 DNA 链。DNA 链以顺时针方向绕 $1\frac{3}{4}$ 圈。核心颗粒厚约 5.7 纳米，高约 11 纳米，核心颗粒之间为长约 60 个碱基对 DNA 的连接部。1 分子组蛋白 1 (H1) 位于连接部 DNA 之中(图)。上述染色质结构的念珠状模型 1974 年由科恩伯格 (R. D. Kornberg) 提出，接着由奥林斯 (Olins) 夫妇等通过用电镜观察破坏了的鸡红细胞核而加以证实。

【螺线管】染色质的二级结构，是直径 30 纳米左右的染色质纤维。这种纤维是由直径 110 埃 (Å) 的染色质丝螺旋缠绕形成的。它是外径 30 纳米，内径 10 纳米，相邻螺旋间距 11 纳米的中空管。螺旋管的每一周螺旋由 6 个左右核小体组成。螺旋管的形成必须有 H1 组蛋白参加，它位于中空的螺旋管的内部，对螺旋管的稳定起着重要的作用。

【超螺旋管】染色质的第三级结构。它是由直径 30 纳米的螺旋管再螺旋化形成的直径约为 0.4 微米的圆筒状结构。超螺旋管进一步螺旋折叠则形成染色单体，即染色质的四级结构。

【染色体】真核细胞分裂时，由染色质凝集而成的、能被碱性染料染色的杆状体。是真核生物基因的载体。它能自我复制，并在连

续的细胞分裂中维持其形态和功能的特征。间期时的染色质到有丝分裂时，通过盘旋、折叠、压缩了近万倍包装成为大小不等、形态各异的染色体。在中期，染色体达到了最大收缩，形态最典型。其形状、大小及数目都有种的特异性，而且相对恒定，对维持物种的稳定性有重要意义。其形态结构包括主缢痕、着丝点、着丝粒、次缢痕、端粒、随体及染色体臂（见图）。根据着丝点的位置可将染色体分为端部着丝点染色体、近端部着丝点染色体、中部着丝点染色体和亚中部着丝点染色体 4 种类型。染色体的数目在性细胞中为单倍体以 n 表示；体细胞染色体为二倍体以 $2n$ 表示。有的物种体细胞染色体成倍增加，成为多倍体。染色体的长度以 1—10 微米最为常见。直径多为 1—2 微米。染色体在 S 期进行复制。

中期染色体模式图

1. 主缢痕 2. 着丝粒 3. 染色体臂
4. 随体 5. 次缢痕

【着丝粒和着丝点】位于染色体主缢痕处的两种结构。着丝粒位于主缢痕的染色质部位，是两条姐妹染色单体相连的地方，此处染色质纤维未复制也未凝缩折叠。此处的 DNA 为高度重复顺序的 DNA，由此处把染色体分成两臂。着丝点也位于主缢痕处，在着丝粒的两侧，是由蛋白质构成的 3 层的盘状或球状结构。着丝点与纺锤体的纺锤丝相连，与染色体的移动有关（见图）。在有丝分裂前期、中期着丝粒把两个姐妹染色单体联在一起，到后期，两条姐妹染色单体的着丝粒分开，纺锤体把两条染色单体拉向两极。

中期染色体上的着丝粒
和三层结构着丝点

1. 染色单体
2. 着丝点
3. 纺锤丝
4. 外层
5. 中层
6. 内层
7. 着丝粒

【主缢痕与次缢痕】中期染色体上比较缢缩的区域。其中着丝粒和着丝点所在的缢痕称为主缢痕，由此把染色体分为两臂。主缢痕处含高度重复序列 DNA，可被碱性染料深染。主缢痕之外的缢痕称为次缢痕。此处的 DNA 松解，次缢痕可作为鉴别某条染色体的标志。有的染色体的次缢痕是核仁组织区（NOR）所在部位，由此形成核仁。

【随体】染色体末端部分的圆形或圆柱形的结构。通过次缢痕区与染色体的主体部分相连。随体是识别染色体的重要特征之一。

【端粒】每条染色体的两个末端。端粒是分子构型的结果，它不呈现特殊的形状。有防止染色体末端彼此粘连的作用。当染色体断裂或失去端粒后，染色体之间往往连接，或同一染色体的两端连接而成环状。

【染色单体】染色体在分裂间期通过复制形成的两条基因内容完全相同的子染色体。每一条染色单体由一分子 DNA 双链结合有关蛋白质组成。中期两条染色单体在着丝粒处相连在一起，后期两条染色单体由着丝粒处分开，各自成为一条染色体。

【B 染色体】又称超染色体或副染色体。细胞核内有一定数目和形态、结构的常染色体和性染色体，称为 A 染色体。它们在遗传上是重要的，对个体的正常生活和繁殖是必需的，其数目的增减和结构的变化往往会对个体造成严重后果。但某些生物的细胞核中还可看到一些超数染色体，多为遗传惰性，对机体的表现型无多大影响，称为 B 染色体。B 染色体比 A 染色体小，而且不与 A 同源，因此在减数分裂时，与 A 染色体不配对，而在 B 染色体之间有时配对，但极不规则而且无交叉。B 染色体大部分为异染色质，但也有的 B 染色体部分或全部为常染色质。

【染色体的化学组成】中期染色体与间期染色质的化学组成相似，都含有 DNA、组蛋白、非组蛋白、少量 RNA、脂类以及钙和镁

等,不同生物的单倍体细胞中 DNA 含量不同,而且差别很大。同一种生物中 DNA 含量一般是恒定的。高等生物细胞内 DNA 含量比低等生物的高。组蛋白是碱性蛋白,没有种和组织上的特异性,通常分为 H1、H2A、H2B、H3 和 H4 等 5 种。组蛋白同 DNA 含量比率较恒定,重量比总是 1 : 1,组蛋白很易和 DNA 结合在一起,在维持染色质结构和功能的完整性上起着关键性作用,并有抑制基因表达的作用。非组蛋白至少包括 50—100 种不同的蛋白质,在不同组织中有不同的非组蛋白。非组蛋白为酸性蛋白。非组蛋白对 DNA 的基因表达有调控作用。与基因的选择性转录、表达有关。

【常染色质和异染色质】在间期时处于分散状态的染色质称为常染色质,具有弱的嗜碱性;而在细胞间期及早前期,仍处于凝缩状态的染色质称为异染色质,它具有强的嗜碱性。常染色质包装松散,有转录活性;异染色质包装成长约 20—30 纳米的纤维,通常转录不活跃。异染色质又分为结构异染色质和兼性异染色质。结构异染色质是指所有细胞核内,永久地呈现浓集状态的染色质,位于间期核膜之下,常凝缩成团块、其中含有高度重复顺序的 DNA,分布于大多数染色体的着丝粒区、端粒和次缢痕附近。每一团块代表一个染色体的着丝粒区的异染色质,有时又称为前染色体或染色中心。某些类型的细胞在一定发育时期的间期核内,原来的常染色质凝集,并丧失基因活性,变为异染色质,称之为兼性异染色质,如雌性哺乳动物从早期胚胎开始,体细胞的两个染色体 (XX) 中的一个异染色质化,在间期核内形成染色很深的颗粒,称为巴氏小体或性染色质;在上皮细胞的细胞核中,异染色质化的 X 染色体还在核内形成特殊的鼓槌结构。雄性动物则无此特征。

【灯刷染色体】形态像灯刷的巨大染色体。在生物界分布广泛。大多数动物的灯刷染色体出现在卵母细胞第一次减数分裂的双线期；有些动物灯刷染色体出现在精母细胞减数分裂的前期（包括合线期、粗线期、双线期）。此外，在无脊椎动物线虫的体细胞间期及植物葱和玉米中也有发现。在结构上，每条灯刷染色体都是由两个同源染色体组成的双价体，包含有 4 条染色单体。两条同源染色体在交叉处结合在一起。在每条染色单体的轴上分布有染色深的、高密度的颗粒，称为染色粒，由染色粒向两侧伸出两个类似的侧环，其数目一般为一个染色粒有一对侧环，有些染色粒可伸出几对侧环（见图）。轴上除侧环外，还有着丝粒、球体、端粒、轴颗粒等结构。这些结构和某些巨大侧环常出现在特定染色体的固定部位上。侧环是转录活跃的部分，其厚度不均一，每个侧环的轴上伸出细丝，细的部分细丝短，粗的部分细丝长，呈“圣诞树”样结构。侧环是 RNA 转录单位，细丝是转录出的 RNA 分子，每条丝由一端借 RNA 聚合酶固定在染色质纤维上，此酶可解读模板。RNA 和蛋白质结合成核蛋白，组成环上的基质。

灯刷染色体模式

1. 交叉 2. 轴 3. 染色质粒 4. 侧环间染色质 5. 染色质侧环

【多线染色体】一种巨大染色体。存在于双翅目昆虫的幼虫组织内，为体细胞永久性间期染色体。每条多线染色体最初起源于正常体细胞染色体，它像减数分裂一样，同源染色体配对，紧密结合在一起，只有 4 条染色单体，以后经过核内有丝分裂产生多股染色单体，平行排列保持在一起，就形成了多线染色体。每条染色单体上的染色粒整齐而致密地排列在一起形成多线染色体的带。带与带之间称为间带，它们交替排列。带上的 DNA 纤维高度卷曲，DNA 含量高，间带的 DNA 含量低。多线染色体上不同的带具有特征性的形态。不同物种多线染色体上带的数目、形态、大小及其分布位置都很稳定。在多线染色体上常常可以发现局部膨大现象，称为胀泡 (puff)，更大的膨大称为斐氏环 (Balbiani ring)。胀泡的实质是带上的染色粒松懈，这种现象和基因转录有密切关系。胀泡在不同组织器官式样不同，而且在染色体的部位也不同。它是一个动态结构，并不恒定，是个体发育时期的一种特征。

【染色体分带技术】对已制备好的染色体标本用不同的物理、化学方法处理，并用一定的染料进行分化染色，使每条染色体上呈现出特定的深浅不同的带纹的技术。根据处理方法和染色方法的不同以及带的型式可分为 Q-带、G-带、C-带、R-带、N-带、及 T-带、Cd-带等几种不同的分带技术。应用各种染色体显带技术，可以准确地识别每条染色体，较易检出染色体上微小的缺失、易位、倒位等畸变，是细胞遗传学、临床医学和环境保护等研究工作中很有用的技术。

【核型与模式组型】核型又称染色体组型，是指用显微镜照相或描绘的方法得到的单个细胞染色体的系统排列。核型可以代表该个

体或一个物种的一切细胞的染色体组成。而核型的模式表达称模式组型或模式图，它是通过对许多细胞染色体的测量，取其平均值绘制而成的理想的、模式化的染色体组成图，代表一物种染色体组型的特征。

【核仁】真核细胞核内无包膜的球状小体。核仁常处于细胞核内偏中心的位置。核仁的形状、大小、数目依生物的种类、细胞形状和生理状态而异。在电镜下观察，核仁周围没有界膜包围，由 4 个不同的部分组成：（1）颗粒区，含电子密度较大的颗粒，直径 15—20 纳米，位于核仁边围，含有成熟的核糖体前体颗粒；（2）纤维区，由直径为 5—10 纳米的纤维组成，是 DNA 和 RNA 纤维，位于核仁中央；（3）核仁染色质，包含两部分，一部分是包围在核仁周围的异染色质，称为核仁染色质，另一部分是伸入到核仁内的染色质，称为核仁内染色质，其内含有 rRNA 基因，由核仁组织者演化而来；（4）基质，是无定形的液体，其中的悬浮颗粒成分和纤维成分，可被胃蛋白酶消化。核仁的主要成分是蛋白质，其次是 RNA 和 DNA，还有微量的脂类。核仁的功能是参与核糖体 RNA (rRNA) 的合成和核糖体的形成。核仁的形态和功能随细胞周期的进行而发生很大变化。当细胞进入有丝分裂时，核仁变形并变小，停止 RNA 合成，含有 rRNA 基因的 DNA 袈环收回到相应染色体次缢痕的核仁组织区；中期，核仁消失；在有丝分裂末期，核仁组织区 DNA 解凝集，rRNA 重新开始合成，在核仁组织区附近重新出现极小的核仁，这些重现的核仁物质可能由一些小的聚集在核仁组织区周围的核仁前体物愈合而来。在重建核仁的过程中，原有的核仁组分可能起协助作用。

【核糖体 RNA (rRNA)】组成核糖体的 RNA 成分。其分子量在 3 种 RNA 中最大,可长达数千个核苷酸。原核生物与真核生物所含的 rRNA 不同。原核生物有 16S、23S 和 5S 等 3 种 rRNA,是由 rRNA 基因连续转录下来的。rRNA 基因先转录出 30S 前体 rRNA,经加工后,产生成熟的 rRNA,并被用于装配核糖体亚单位。真核生物有 18S、28S、5.8S 和 5S 4 种 rRNA,其中为 18S、28S 和 5.8S rRNA 编码的 rRNA 基因存在于核仁组织区 (NOR) 中,5SrRNA 基因存在于大多数染色体的端粒区。核仁组织区中的 rRNA 基因为中等重复顺序 DNA,有几百次重复的核苷酸序列。将核仁物质经低渗处理分散开后,在电镜下可观察到核仁核心部分由纠缠在一起的很长的 DNA 纤维组成。沿长纤维有一系列重复的箭头状结构,指向一个方向,之间有一裸露的 DNA 纤维区,称间隔 DNA,每一个箭头状结构称为一个基质单位。它是由一根 DNA 纤维及从 DNA 两侧伸出的细纤维(新生的 RNA)组成,每个基质单位代表一个 rRNA 转录单位。在哺乳动物细胞中,在 RNA 聚合酶的催化下,rRNA 基因先合成 45S RNA 前体分子,随后经过一定顺序的切割处理,被切割成 20S 和 32S rRNA,20SrRNA 很快裂解为 18S rRNA,参加核糖体小亚单位的装配。32S rRNA 被切割成 28S 与 5.8S rRNA 并与由染色体转录的 5S rRNA 共同参加核糖体大亚单位的装配。大小核糖体亚单位通过核孔复合物进入细胞质。

【核基质】英文缩写 NM。细胞核中存在的一种主要由非组蛋白纤维构成的网络结构。当将分离纯化的细胞核用去垢剂溶去核膜,再用 DNA 酶与 RNA 酶消化处理,最后用高盐溶液除去组蛋白及其它可溶性蛋白后,仍保留着一个具有基本核外形和大小的以非组

蛋白为主的残余核结构，细胞学家称之为核基质。因为它的基本形态与细胞质骨架相似，并与细胞质骨架体系有一定的联系，所以也有人将核基质称之为核骨架。对其概念目前存在广义及狭义两种理解。前者认为，核基质是由核层、核孔复合物、残余核仁、染色质纤维及核糖核蛋白（RNP）颗粒和纤维组成的不溶的网络结构；后者认为核基质是指在细胞核中存在的一个由纤维蛋白构成的网架系统，不包含核膜、核层、染色质和核仁成分，但与核层及核孔复合物有结构上的联系。核基质的主要成分是纤维蛋白，多数是非组蛋白性的纤维蛋白成分，并含少量 RNA。纤维蛋白与 RNA 形成复合物——核糖核蛋白（RNP）。核基质的功能与 DNA 的复制、基因表达、RNA 的合成修饰，关系密切；并与染色体的包装构建有关。间期核骨架成分与中期染色体支架在细胞周期过程中可能会发生相互转化。此外核基质变化与细胞分化也是密切相关的。

细胞分裂与分化

【细胞周期】以有丝分裂方式连续分裂的细胞从一次分裂结束到下一次分裂完了的整个过程。即细胞的生命周期。细胞周期包括 G_1 期、S 期、 G_2 期和 M 期等四个时期。 G_1 期是 DNA 合成前期，也就是在 DNA 合成前的一段间隙时间；S 期是 DNA 合成期； G_2 期是 DNA 合成后期，是 DNA 复制结束和有丝分裂开始之间的间隙；M 期是细胞的有丝分裂期。在细胞周期中，各时期所发生的生化事件不同，而且形态也发生变化。 G_1 期细胞最小，扁平而光

滑；由 S 期到 G_2 期再到 M 期，细胞逐渐增大，由扁平变为球状，表面也发生变化。在一个增殖的细胞群中，细胞可分为三类：连续分裂细胞；休眠细胞和不分裂细胞。休眠细胞又称 G_0 期细胞。

【 G_0 期细胞】即休眠细胞，是暂时脱离开细胞周期，分裂停止的细胞。不能合成 DNA，并停止细胞分裂。但当受到适当刺激时仍可重新进入细胞周期，并开始 DNA 合成和有丝分裂。如某些免疫淋巴细胞、肝、肾细胞等。

【有丝分裂期】又称 M 期。分为前期、中期、后期和末期。是细胞形态结构发生急剧变化的时期，包括一系列核的变化、染色质的浓缩、纺锤体的出现，以及染色体精确地分配到两个子细胞中的过程。在这个时期蛋白质合成明显下降，RNA 合成及其他代谢周转停止。

【细胞分裂】一个细胞分裂为两个细胞或多个细胞的过程。分裂前的细胞称为母细胞，分裂后形成的新细胞称为子细胞。细胞分裂包括核分裂和胞质分裂两个过程。一般核分裂之后随之发生胞质分裂。在核分裂过程中，母细胞把遗传物质传给子细胞，在单细胞生物中，细胞分裂就是个体繁殖；在多细胞生物中细胞分裂是个体生长、发育和繁殖的基本保证，没有细胞分裂便谈不到生物的遗传、进化和生命的延续。真核细胞的分裂可分为无丝分裂、有丝分裂和减数分裂 3 种。

【原核细胞的分裂】原核细胞进行直接分裂。其细胞中拟核的环状 DNA 分子附着在质膜的一点上，或附着在质膜内陷形成的间体

上。在 DNA 分子复制完成后，便开始了细胞质分裂。分裂时，先从一定部位开始。复制好的两个 DNA 分子仍与膜相连。随着连接处的生长，把两个 DNA 分子拉开。在细胞中部，质膜发生内褶，褶中产生了新的壁物质形成隔膜，借此把两个 DNA 分子分配到两个子细胞中去。

【无丝分裂】又称直接分裂。在分裂过程中不形成纺锤丝，也不发生染色质浓缩为染色体的变化。其典型过程是核仁首先伸长，中间发生缢缩并分开，随后细胞核拉长成哑铃状，中央部分变细并断开，细胞核一分为二，细胞也随之分裂成为两个子细胞。有些人认为，无丝分裂仅在病变或退化的细胞中有时发生，是不正常的病理现象；另外一些人认为，无丝分裂普遍发生于动植物的未发育到成熟状态的细胞中，是一种正常的、比较简单的细胞分裂方式。

【有丝分裂】又称间接分裂。是真核生物细胞分裂的基本形式。在这种分裂过程中，出现由纺锤丝构成的纺锤体，染色质凝集成染色体。有丝分裂是一个核改组的连续过程。根据一些形态学上的变化，可以分为前期、前中期、中期、后期和末期 5 个时期。增殖细胞在 G_1 、S、 G_2 各期复制加倍的各种大分子（特别是 DNA），经过有丝分裂使它们精确地平均分配到两个子细胞中。有丝分裂保证了携带着遗传信息的染色体能一代代地以相同数目传递下去，从而维持了遗传的稳定性。

【纺锤体】有丝分裂装置的一部分。是由大量微管纵向排列组成的中部宽阔，两极缩小的细胞器，形状像纺锤。纺锤体分为有星纺

锤体和无星纺锤体两种类型。前者见于绝大多数动物细胞及某些低等植物细胞。后者见于高等植物细胞。纺锤体由连续牵丝、染色体牵丝及区间牵丝组成。连续牵丝是由两极分别向相对一极的方向伸展的微管又称极微管,在赤道区来自两极的微管彼此相搭,侧面结合,其中有的微管和两极均不接触称为自由微管;染色体牵线是一端分别由两极发出,另一端结合到着丝点上的微管,又称着丝点微管;区间牵丝是指在后期和末期时连接已经分向两极的染色体或子核间的微管。

【秋水仙素】又称秋水仙碱。从百合科秋水仙属 (*Colchicum*) 的一种多年生草本植物,秋水仙 (*C. autumnale*) 中提取出来的一种植物碱。为淡黄色粉末,有毒、溶于水。可抑制微管的聚合,因而能抑制有丝分裂装置纺锤体的形成,将细胞阻断在有丝分裂中期。为此它可作为细胞分裂中期的阻断药物,并常用来使杂交植物的后代发生染色体加倍,以培育新品种。

【植物凝集素】英文缩写 PHA。从豆子(四季豆、四川雪山豆)中提取出来的一种糖蛋白。含有两种重要的化学成分,即粘多糖和蛋白质。是一种强力非特异性的丝裂原,可使体外培养的小淋巴细胞转化为幼稚状态,因而可促进有丝分裂,并有使红血球凝集的作用。

【减数分裂】一种特殊的有丝分裂过程。它发生在生殖细胞形成前的某一时期。这一过程的特点是 DNA 进行一次复制,而细胞连续进行两次分裂,结果染色体数目减半。所以形成的精子和卵细胞的核都含有“单倍数的染色体”,受精后,形成的合子中的染色体

数又为 $2n$ ，从而使每种生物代代都能够保持二倍体的染色体数。另外减数分裂还有一个特点，就是前期特别长，而且变化复杂，其中包括同源染色体配对、非姊妹染色单体之间发生部分交换等，结果使配子的遗传基础多样化，使后代对环境条件的变化有更大的适应性。减数分裂由相继的两次分裂组成，分别称为减数分裂Ⅰ和减数分裂Ⅱ。在两次分裂之间的分裂间期或长或短，但无 DNA 合成。

【减数分裂类型】根据减数分裂发生的时间和部位可分为 3 种类型：（1）动物的减数分裂发生在形成配子之前。雄性生殖细胞是在精巢（精细管）中发生的。精原细胞停止增殖后，成为初级精母细胞，进行第一次减数分裂，形成两个次级精母细胞，后者通过第二次减数分裂形成 4 个精细胞，精细胞分化为精子。在雌性个体的卵巢中，卵原细胞在母体发育早期便停止增殖，成为卵母细胞进入减数分裂期。通过减数分裂形成一个卵细胞和 3 个极体。（2）某些菌、藻及原生动物，先生成精、卵（或称之为 +、- 配子），融合后成为二倍体合子，合子立即进行减数分裂，产生 4 个单倍体细胞，经数次分裂形成单倍体孢子，再产生单倍体个体，由此产生配子。（3）被子植物、裸子植物、蕨类和苔藓植物的生活环都由孢子体世代和配子体世代组成。即配子受精形成的合子发育成孢子体，孢子体上的孢子母细胞发生减数分裂，形成孢子。孢子发育成配子体进而形成配子。

【减数第一次分裂】简称减数分裂Ⅰ。其特点是前期比较复杂。也可以分为前、中、后、末 4 个时期，因为属于第一次分裂，所以通常称为前期Ⅰ、中期Ⅰ、后期Ⅰ和末期Ⅰ。

【减数间期】第一次减数分裂完成和第二次减数分裂开始以前的短暂停顿期。这时细胞核的形态与有丝分裂间期没有区别，但未见有 DNA 的合成，不进行染色体复制。这时的染色体仍由两条染色单体构成。但有许多生物在末期Ⅰ结束后，并不进入间期，而是立即进行减数第二次分裂。

【减数第二次分裂】又称减数分裂Ⅱ。其过程与有丝分裂基本相同，可分为前、中、后、末各期。如在末期Ⅰ及间期，已经去凝集的染色质，在前期Ⅱ时又重新凝集。前期Ⅱ时间较短，到中期Ⅱ时染色体又形成致密的短棒状，排列在赤道面上，每条染色体的着丝点分别和两个不同极的纺锤丝相连。后期Ⅱ时两条染色单体分开，移向两极，到达两极的染色体数为 n 数，每条子染色体只由一条染色单体构成。末期Ⅱ两极的子染色体解螺旋，核膜重新形成，出现核仁，经过胞质分裂，形成 4 个单倍体细胞，完成了减数分裂过程。

【前期Ⅰ】变化最为复杂。呈现许多减数分裂的特征形态变化，时间长，可达几周、数月，甚至几年、几十年。它又可分为细线期、偶线期、粗线期、双线期和终变期 5 个时期。

【细线期】又称凝集期。减数第一次分裂的起始期。染色质已凝集成细长的线状结构。细线的两端通过接触斑和核膜相连，有的物种染色线集中一端，呈花束状向外放散，故又称花束期。染色线上有念珠状小节，称染色粒。细线期染色体虽已复制，但染色体仍呈单条细线，看不到成双的结构。此期核的体积增大，核仁也

较大。

【偶线期】又称合线期或配对期。减数第一次分裂前期的第二个时期。在此期可以看到染色体成双的结构。两条同源染色体开始配对，这种配对现象称为联会。同源染色体配对一般是从靠近核膜的一端开始，有时在染色体全长的若干点上也同时进行联会。这种配对是专一性的。联会部位形成一种特殊结构，沿同源染色体轴分布，称为联会复合体 (synaptonemal complex=SC)。配对后的每对同源染色体由 4 条紧密结合在一起的染色单体构成，称四分体。又因每对均由 2 条染色体组成，所以从染色体上考虑又称二价体。

【粗线期】又称重组期。减数第一次分裂前期的第 3 个时期。这一时期开始于同源染色体配对完成之后。染色体明显变粗变短、结合紧密，同源染色体的非姊妹染色单体间发生 DNA 片段交换，产生了新的等位基因的组合。粗线期核仁仍然很大，含有很多 RNA。

【双线期】又称合成期。减数第一次分裂前期的第 4 个时期。在这个时期联会的同源染色体开始分开，但在许多点上依然相连，这些接触点称之为交叉。在这个时期联会复合体消失，在显微镜下可以清楚地看到，每个二价体由四条染色单体构成。交叉发生在两个姊妹染色单体之间。双线期的染色体进一步缩短。

【终变期】又称浓缩期。减数第一次分裂前期的第五个时期，这个时期二价体变成紧密凝集状态，并开始向核的周边移动，较均匀地分布在核中，随着发展，交叉向染色体臂的端部移行，称为端

化。最后，四分体只在靠近端部处交叉使其结合在一起。此时核仁开始消失。终变期的完成，标志着减数分裂前期 I 的结束。当前期即将结束时，像有丝分裂一样，中心粒早已加倍并移向两极，形成纺锤体。

【中期 I】减数第一次分裂的中期。此期核膜解体，纺锤体形成，分散于核中的二价体开始向纺锤体中部移动。二价体上有 4 个着丝点，一侧纺锤体只和同侧的 2 个着丝点相连，最后染色体排列在赤道面上。

【后期 I】减数第一次分裂的后期。此期纺锤体分别拉同源染色体向两极移动，每个二价体的两条同源染色体分开，趋向两极。每极接受单倍体数量的染色体。所以在后期 I 染色体发生了减数，但每条染色体仍含有 2 条染色单体。至于双价体中哪一条染色体移向哪一极，完全是随机的，这有利于减数分裂产物的基因组因重组而变异。

【末期 I】减数第一次分裂的末期。此期染色体已到达两极，并逐渐解开螺旋，又成为细丝状。核膜重建，核仁重新形成，接着进行胞质分裂，形成两个子细胞。末期 I 与有丝分裂的末期不同，它的染色体数只有 n 条，比分裂前的 $2n$ 条少了一半，但每条染色体含有两条染色单体。

【同源染色体的联会】减数分裂过程中，同源染色体的配对现象。同源染色体的联会是减数分裂的核心问题。配对的同源染色体是靠联会复合体 (SC=synaptonemal complex) 稳定地联系在一起。

SC 位于两条同源染色体之间,沿纵轴方向延伸。SC 的细微结构在各种动植物中大体相同,两侧为“侧生组分”,宽 200—400 埃($\text{\AA}$),电子密度高,很暗。两“侧生组分”之间为中央区,宽 1000 埃,比较明亮。中间区的中央为“中央组分”,宽 300 埃,比较暗。“侧生组分”的外侧纤维和染色体基本纤维之间连接十分紧密。“侧生组分”和“中央组分”之间有横向排列的纤维,称 L-C 纤维,其直径为 70—100 埃左右, L-C 纤维之间距离为 200—300 埃, L-C 纤维在中间相遇,形成“中央组分”。此过程称为锁合。SC 结构象一架梯子,扁平带状。其化学组分主要有碱性蛋白和 RNA,并含有微量 DNA。SC 的形成开始于偶线期,成熟于粗线期,在双线期消失。SC 的形成标志着同源染色体联会的完成,而 SC 的解体与同源染色体的分离相联系。

【细胞分裂周期基因】使有丝分裂能有序地进行的基因。这些基因的表达产物,支配着细胞周期不同阶段表现出各种重要事件。这些基因即为细胞分裂周期基因,英文缩写为 cdc 基因。已在酵母中克隆出一些 cdc 基因,如 cdc8、cdc24、cdc9、cdc28、cdc31 和 cdc2 等。其中 cdc31 基因控制纺锤体的复制;对细胞周期开始主要控制点起作用的是 cdc28;而 cdc8 则控制染色体周期中 DNA 的合成。cdc2 基因在细胞周期的调控中起着重要作用,它在酵母分裂周期中,对两个重要调控点(即 G_1 期和 G_2 期)起作用,决定细胞按一定的事件程序进入 S 期和有丝分裂期。cdc2 基因产物 P_{34} 蛋白和周期蛋白(cyclin)是成熟促进因子(简称 MPF)的主要组成物,二者的磷酸化和去磷酸化控制了染色质的凝集与去凝集。

【细胞分化】多细胞有机体在个体发育过程中通过细胞分裂,细胞

之间在形态、功能和蛋白质合成等方面发生稳定性差异的过程。细胞分化是稳定的，不可逆的。高度分化的细胞即处于特化状态，在成体中一般不再分裂。不同分化程度的细胞对环境因子的反应能力也不一样。

【环状腺苷酸】英文缩写 cAMP。全名为 3', 5' — 环腺苷 — 磷酸。是细胞中存在的极为重要的生理活动性物质。从低等的细菌到高等哺乳动物的细胞中均含有。其含量极微，它以小分子化合物的形式调节、控制细胞代谢各过程，在细胞生化、生理过程中起着重要的作用。cAMP 是在含氮激素（多肽、蛋白质激素、儿茶酚胺激素等）的参与下，由细胞膜中的腺苷酸环化酶（简称 AC）催化生成。它充当激素的媒介物，即作为“第二信使”，把各种调节信息带到细胞内某些特定的部位，以调节酶的活动、基因表达、膜的通透性、细胞的分裂与分化等而表现其生理效应。cAMP 对细胞中很多代谢过程发生影响是通过调节酶的活性来实现的。它可使无活性的蛋白激酶变为有活性的蛋白激酶，而被激活的蛋白激酶，又可进一步使细胞中的某些酶磷酸化，其活性受到激活或抑制，从而催化细胞内一定的底物，再引起一系列的连续反应，最后导致一系列代谢反应的产生。cAMP 可促使细胞膜某些蛋白的磷酸化使其结构发生变化，从而调节某些物质在细胞胞中的通透性。cAMP 对基因表达的调节通过两种途径：一是促进组蛋白和非组蛋白的磷酸化，解除对基因的抑制；二是促进核糖体蛋白质的磷酸化和激活 RNA 聚合酶。二者相互配合，加速 DNA 的转录和翻译过程。cAMP 在调节细胞分裂和分化中也起着重要的作用。它明显地抑制细胞分裂、促进细胞分化。另外，cAMP 与肿瘤也有一定关系。在肿瘤细胞中，cAMP 的含量水平一般低于正

常细胞的含量水平。

【环状鸟苷酸】英文缩写 cGMP。全名 3', 5' -环鸟苷—磷酸。广泛存在于动植物和微生物的细胞中,但其浓度比 cAMP 小数倍至数十倍。代谢较简单,在锰离子 (Mn^{2+}) 的存在下由鸟苷酸环化酶催化而成。cGMP 的生理功能在许多方面都与 cAMP 相颉抗。如当 cAMP 增高时,葡萄糖合成糖元,平滑肌细胞收缩,在神经元活动中有促进神经元兴奋的作用。当 cGMP 增高时,可促进 DNA 复制,从而可促进细胞分裂而抑制细胞分化。

细胞代谢

【代谢】又称新陈代谢。维持生命活动过程的生物化学变化。其意义有广义和狭义之分。广义的代谢是指生物体与外界不断交换物质的过程,包括从体外环境中吸取营养和物质在体内的生物化学变化和废物的排出。狭义的代谢是指物质在细胞中的合成和分解过程,一般称中间代谢。代谢有合成代谢、分解代谢、物质代谢、中间代谢、能量代谢、气体代谢、基础代谢等等。通过代谢,生物体与周围环境之间进行物质和能量的交换作用。新物质在生物体内不断产生,旧物质不断消失。以维持正常的生命活动。各种生物化学变化都在酶的催化下进行。代谢过程实际上是一个复杂而有序的酶促反应过程的“网”,是生命现象的基本特征。

【物质代谢】生物机体与环境之间进行物质交换和体内物质转化的

过程。实际上是复杂的生物化学过程。例如，糖类、脂肪和蛋白质，在体内的合成经过不同的途径，而它们的分解途径则有共同之处。那就是各种物质经过一系列的变化后，产生酮酸，最后都经过三羧循环，氧化成水和二氧化碳。生物体从物质代谢过程中获得能量，维持正常的生命活动。

【能量代谢】机体与周围环境能量交换和体内能量转移的过程。在物质代谢过程中，常伴随着能量的转变。合成代谢一般是吸能反应，分解代谢是放能反应。放出的能量一部分供合成代谢之用，其余部分则供给机体活动使用或发散为热。机体的能量来源于营养物质（如蛋白质、脂肪和糖类等）。一般成人的能量代谢较为平稳，即摄入能量与消耗能量保持动态平衡，而未成年人则摄入能量必须多于消耗能量，才能保证机体的发育和生长。能量的消耗量因机体的活动强度不同而不同，活动强度越大，能量消耗越多。因此，测定能量的消耗可为制订各种营养标准提供参考。

【合成代谢】又称同化作用或同化代谢。将简单物质变成复杂物质的代谢过程。生物体在新陈代谢过程中，从食物中摄取养料，使它转变成本身的物质，并储存能量。例如，糖类的合成代谢中，绿色植物能将水和二氧化碳通过光合作用合成淀粉，被人类和动物利用，提供能量。糖原的生成是把葡萄糖经过一系列的生物化学变化最后形成肝糖原或肌糖原，储存在肝脏或肌肉中备用。脂肪的合成代谢，可利用脂肪酸和甘油合成脂肪。脂肪也是机体的良好能源。但是由于某种原因，脂肪合成代谢旺盛，大量脂肪在体内堆积，往往会产生病态，如冠心病、脂肪肝、肥胖症等。此外，还有蛋白质的合成代谢以及核酸的合成代谢等。总之，合成代谢是

生物机体的建设方面。合成的物质供机体需要。

【分解代谢】又称异化作用或异化代谢。将较为复杂的物质变成简单物质的代谢过程。在新陈代谢过程中，生物体将自身的组成物质进行分解，同时放出能量。生物活动所需的能量，主要是由各种物质的分解代谢所提供的。如成人每天所需热量的 60—70% 来自糖类。脂肪也是机体的良好能源。每克脂肪的潜能比等量的蛋白质和糖类高一倍以上。通常脂肪的氧化可为机体提供丰富的热能。

【中间代谢】物质在代谢中，所有中间变化复杂过程的总称。例如糖原的生成和葡萄糖的氧化，生成水和二氧化碳，都要经过许多化学变化，产生一系列的中间产物。脂类的中间代谢必先经过酶解（即消化）、吸收才能进行，而且须在某些因素的调节之下，才能正常运转。同位素示踪实验的结果证明，生物活体组织的蛋白质，不断地在自我更新。即不断地合成和分解。生物体合成蛋白质需要氨基酸为原料，动物需要的氨基酸主要从食物中获得，植物则直接利用氨及硝酸盐合成氨基酸，再合成蛋白质。蛋白质在被生物利用时，一般须分解为氨基酸，氨基酸再分解成酮酸或氨，氨可被生物以酰胺形式储存起来或转变成其他含氮物质。酮酸可再变为氨基酸及脂、糖和其他物质，最终通过三羧循环进行氧化变成水和二氧化碳。这些物质的中间代谢过程，都要在酶及其他的因子参与下才能进行。一旦中间代谢失调，就会产生各种疾病。

【同化代谢】即“合成代谢”。

【异化代谢】即“分解代谢”。

【生物氧化】在生物体细胞内，由一系列氧化还原酶所催化的氧化作用的总称。生物体所需能的来源，是糖类、脂肪、蛋白质在体内的氧化分解，产生二氧化碳和水，所放出的能量。主要的方式是加氧、脱氢和失去电子。生物氧化是细胞有氧呼吸作用的一系列的氧化还原反应。其过程为代谢物经脱氢酶的作用，将中间物和细胞色素等还原，并生产能量。还原的细胞色素再经细胞色素氧化酶的作用，被空气中的氧所氧化。生物氧化是生物体内新陈代谢的重要基本反应，没有生物氧化，体内的有机物质就无法进行代谢，生物体就不能构成自己的细胞组织及取得生命所需要的能量。

【呼吸传递体】呼吸链中各种传递体的总称。生物氧化过程中，底物脱下的氢，经一系列中间传递体而达到氧分子。这种从底物氧化脱下的氢和电子（黄酶把氢分解成 $H^+ + e^-$ ，所以电子从黄酶开始被单独传递）沿着一定顺序排列的一组电子传递体而达到氧分子的路线，称为呼吸链（又称电子传递链）。每个中间传递体都能反复地接受氢和电子，促进全部生物氧化过程的完成。参与呼吸链的成员包括：（1）烟酰胺腺嘌呤核苷酸辅酶类（NAD、NADP）；（2）黄酶蛋白类（FMN、FAD）；（3）苯醌类衍生物（辅酶 Q 等）；（4）细胞色素类（细胞色素 a、a₃、b、c₁、c 等）；（5）非血红素铁和铜蛋白。以上这些都属于呼吸传递体。

【呼吸链】多酶氧化还原体系，是由 NAD-脱氢酶或 NADP-脱氢酶、递氢体黄酶、辅酶 Q、细胞色素 b、细胞色素 c、细胞色素 a

和细胞色素氧化酶等组成的氧化还原体系。呼吸链在生物体内十分复杂，它表示一种有机物质如何脱去氢，脱出的氢及失去的电子如何在呼吸链中传递，最后产生水。两个氢在呼吸链中产生 3 个 ATP。由氧生成水的反应是不可逆的。呼吸链在生物体内应用最广，如糖类、脂肪、蛋白质三大物质的分解代谢过程，都是通过呼吸链完成的。细胞所利用的氧有 95% 是通过呼吸链与代谢物脱出的氢结合生成水的。

【氧化磷酸化】由 ADP 合成 ATP 的反应。在代谢中利用体内有机物质氧化作用中所释放的能量，使无机磷酸盐转变成为高能有机磷化合物(ATP 及磷酸肌酸等)。从而使大部分氧化作用所产生的能量得以储存和利用。这种氧化作用与高能磷酸化合物生成作用之间的偶联，称氧化磷酸化作用。这是生物体内将化学能转换成高能磷酸化合物的重要方式，通常在生物膜上进行。氧化磷酸化，分两种类型，即代谢物连接的磷酸化和呼吸链连接的磷酸化。

【糖的生物合成】生物体内通过各种物质代谢合成糖类的过程。糖类的生物合成，主要有糖原、淀粉、蔗糖、乳糖和葡萄糖等。

(1) 糖原的生物合成：葡萄糖为合成糖原的唯一原料，半乳糖和果糖都要通过磷酸葡萄糖才能变为糖原。在合成过程中，需要有已糖激酶、磷酸葡萄糖变位酶、尿嘧啶核苷二磷酸焦磷酸化酶、糖原合成酶、分枝酶及 ATP 参加作用，才能进行。由非糖物质转变为糖原的糖原异生作用，所合成的肝糖原和肌糖原，分别储存在肝脏和肌肉中备用。

(2) 淀粉的生物合成。植物利用光合作用，将水和二氧化碳变成单糖，然后再通过合成淀粉的酶类作用，把单糖变成淀粉。

(3) 蔗糖的生物合成，是 1-磷酸葡萄糖和果糖，通

过蔗糖磷酸化酶作用，可转变成蔗糖。(4) 乳糖的生物合成与糖原类似，D-半乳糖在半乳糖激酶催化下可生成乳糖。

【糖异生作用】由非糖物质（如乳酸、丙酮酸、甘油、脂酸及生糖氨基酸），在生物体内转变为葡萄糖或糖原的作用。酵解作用是可以逆转的。一切能形成乙酸、丙酮酸或三羧循环中间产物的物质，都可成为体内合成糖的原料，沿酵解途径逆行生成糖。糖酵解过程的逆转有 4 个关键性的酶，它们是：丙酮酸羧化酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶、1,6-二磷酸已糖酯酶和 6-磷酸葡萄糖酯酶。

【脂肪酸氧化】脂肪酸分解的方式。由脂肪水解生成的脂肪酸主要经过 β -氧化作用逐步分解（参见“脂肪酸 β -氧化”），最终产物为乙酰 CoA，如果含有奇数碳原子的脂肪酸，还可产生丙酰 CoA。乙酰 CoA 可进入三羧循环，彻底氧化，产生水和二氧化碳。丙酰 CoA 可以和 ATP、 CO_2 反应生成丙二酰 CoA，再经分子内重排生成琥珀酰 CoA，再进入三羧循环而被彻底氧化。除了 β -氧化外还有 ω -氧化和 α -氧化。少数短链脂肪酸（如含 10、12 个碳原子），可按 ω -氧化方式逐步分解（ ω 表示远距羧基的一端）。脂肪酸的 ω -氧化，首先 ω -位碳被氧化生成二羧酸，再经 β -氧化，在两端同时或其中一端切下二碳化合物来。10、12 碳脂肪酸经 ω -氧化生成琥珀酸，可进入三羧循环被彻底氧化或转变为其他类物质。 α -氧化是脂肪酸的 α -碳被氧化成羟基，产生 α -羟脂酸。再经过脱羧、氧化转变为少一个碳原子的脂肪酸。这两种反应都由单氧化酶催化，而且需要 O_2 、 Fe^{2+} 和维生素 C 参加。 α -氧化在植物组织、动物的脑和神经细胞中都有发现。

【脂肪酸 β -氧化】生物体内脂肪酸氧化分解的主要方式。脂肪酸的氧化分解是逐步完成的，每一次从脂肪酸碳链上切下一个二碳化合物（乙酰 CoA）。由于氧化断裂发生在脂肪酸碳链的 β -位碳原子上。而称 β -氧化作用。脂肪酸 β -氧化，分五步进行：（1）脂肪酸生成脂酰 CoA。（2）脂酰 CoA 生成 α , β -烯脂酰 CoA。（3）烯脂酰 CoA 水合，生成 β -羟基脂酰 CoA。（4） β -羟基脂酰 CoA 脱氢生成 β -酮脂酰 CoA。（5） β -酮脂酰 CoA 在 CoA-SH 作用下，分解为乙酰 CoA 和比原来少两个碳原子的脂酰 CoA。新生的脂酰 CoA，可以按照上述途径继续分解，这样循环多次，即可将脂肪酸变成多个乙酰 CoA。

【酮体氧化】酮体的氧化过程。酮体即乙酰乙酸、 β -羟丁酸和丙酮的总称。在正常生理情况下，脂肪酸 β -氧化产生的乙酰 CoA 可顺利进入三羧循环进行彻底氧化。也可产生酮体。如乙酰 CoA 与乙酰 CoA 缩合变成乙酰乙酰 CoA。乙酰乙酰 CoA，经过酶的作用可产生乙酰乙酸。乙酰乙酸还原变成 β -羟丁酸或脱羧形成丙酮。当膳食中脂肪过多或缺乏糖类或者糖、脂代谢紊乱时，肝中的酮体就会增加。患尿酮症的人，在肝和血液中积累较多的酮体。酮体的分子很小，易溶于水，在肝细胞内形成后，很容易透过细胞膜进入血液循环，送到心脏、肾脏和肌肉等肝外组织。因为酮体中的乙酰乙酸和 β -羟丁酸都是酸性物质，故有出现酸中毒的危险。酮体在肝脏中生成，但在肝脏中不能分解。酮体的分解必须在肝外组织中进行。酮体的氧化，首先是乙酰乙酸氧化变成乙酰乙酰 CoA，然后裂解成乙酰 CoA，才能进入三羧循环彻底氧化。 β -羟丁酸的分解是通过乙酰乙酸的氧化途径来完成。丙酮首先是氧化变成丙酮酸，然后进入三羧循环彻底氧化。

【脂肪酸生物合成】乙酸可以合成脂肪酸，说明乙酸是脂肪酸的前体。首先是乙酸与 CoA 结合生成乙酰 CoA，乙酰 CoA 可以合成脂肪酸。饱和脂肪酸的生物合成有两种途径：(1) 非线粒体酶系合成饱和脂肪酸的途径（又称丙二酸单酰 CoA 途径）。乙酰 CoA 经乙酰 CoA 羧化酶催化和 HCO_3^- 起作用产生丙二酸单酰 CoA，再经丙二酰转酰基酶催化与 ACP-SH（酰基载体蛋白）作用生成丙二酸单酰-S-ACP。丙二酸单酰-S-ACP 与乙酰-S-ACP 经缩合、还原、脱水和再还原等 4 个步骤，即为一轮合成反应。所产生的丁酰-S-ACP (C_4) 比原来的乙酰 CoA (C_2) 多两个碳原子。丁酰-S-ACP 经同样方式与丙二酸单酰-S-ACP 缩合，重复循环 6 次即可得长链 (C_{16}) 的脂酰-S-ACP，最后经水解即生成长链饱和脂肪酸。(2) 饱和脂肪酸碳链延长途径。线粒体酶系、内质网酶系与微粒体酶系，都能使短链饱和脂肪酸的碳链延长，每次延长两个碳原子，只要加入乙酰 CoA 即可。

【脂肪的生成】脂肪为甘油和脂肪酸结合生成的物质。其生成途径有很多种，比较重要的一种是：脂肪酸先与 CoA 结合成脂酰 CoA，脂酰 CoA 再与 α -磷酸甘油作用产生 α -磷酸甘油二酯，在磷酸酯酶的作用下， α -磷酸甘油二酯脱去磷酸根，再与一分子脂酰 CoA 作用生成甘油三酯（即脂肪）。由糖酵解产生的磷酸二羟丙酮，经还原可产生 α -磷酸甘油（或脂肪水解产生的甘油与 ATP 作用，也可生成 α -磷酸甘油），然后与脂肪酸生成脂肪。

【磷脂的生物合成】磷脂的生物合成过程。磷脂（即甘油醇磷脂）有很多种，如卵磷脂、脑磷脂、缩醛磷脂等。在磷脂的生物合成

中，中间产物磷脂酸和胞嘧啶衍生物（CTP 和 CDP）是合成所有磷脂的关键物质。（1）卵磷脂的生物合成。（2）脑磷脂的生物合成与卵磷脂的生物合成途径相似。只是以 CDP-乙醇胺代替 CDP-胆碱，为乙醇胺磷脂，以 CDP-甘油二酯代替 1, 2-甘油酯，以丝氨酸和肌醇分别代替 CDP-胆碱，即合成丝氨酸磷脂和肌醇磷脂。（3）神经醇磷脂的生物合成，可从软脂酸开始，经一系列反形成神经氨基醇，再同长链脂酰 COA 和 CDP-胆碱作用即生成神经醇磷脂。

【胆固醇的转化】胆固醇可以转变成许多具有重要生理功能的化合物，例如性激素、肾上腺皮质激素、胆酸、胆固醇酯、维生素 D₃ 及其他类固醇。其转变过程十分复杂，有些还不清楚。但是这些转变对人类来说极为重要。因为除可以转变成生理活性物质外，某些疾病也是由于胆固醇代谢失常而引起的。例如高胆固醇症、动脉硬化、心血管硬化、胆结石症等。一般成人血液中，每 100ml 血清含胆固醇约 130—250mg。

【氮平衡】从食物中摄入的氮量与从体内排出的氮量的相对关系。当摄入的氮量等于排出的氮量，称为等氮平衡，摄入氮量小于排出氮量称为负氮平衡，摄入氮量大于排出氮量称为正氮平衡。一般成人的氮平衡至少须维持等氮平衡或略微升高或降低。儿童和青少年须保持正氮平衡，方能达到正常发育和生长。如长期食用低蛋白膳食或食用不完全蛋白质的情况下，氮平衡水平即可略微降低，反之则略微升高。如果饥饿、禁食或发高烧，都可使人产生负氮平衡。测定氮平衡，可以计算蛋白质的生理价值。生理价值是指由食物摄入的总氮量在体内存留的百分数，生理价值的高

低，决定蛋白质价值的优劣，同时反映蛋白质的必需氨基酸是否完全。生理价值也可受其他因素的影响，如破坏氨基酸的烹调方法及影响消化吸收的因素等。

【氧化脱氨作用】氨基酸的氧化脱氨是由 L-氨基酸氧化酶（即 L-氨基酸脱氢酶）所催化的。氧化脱氨反应，是动植物体中普遍存在的脱氨作用，但是上述氧化脱氨作用，不适用于甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸、精氨酸和鸟氨酸。因为这些氨基酸脱氨需要其他的酶来催化。

【转氨作用】又称氨基移换作用。脱氨基的一种反应。即一种氨基酸的氨基在转氨酶的作用下，转移给 α -酮酸的作用。例如谷氨酸的氨基可转移给丙酮酸、谷氨酸与草酰乙酸也起转氨作用，只是所需的酶不同而已。谷氨酸和天冬氨酸与酮酸所起的转氨作用在生物体中特别重要，因为通过转氨作用可以促进氨基酸的分解和新氨基酸的合成。转氨作用可使由糖代谢产生的丙酮酸、 α -酮戊二酸、草酰乙酰变为氨基酸，因此，对糖和蛋白质代谢产物的互相转变具有重要意义。

【联合脱氨作用】又称间接脱氨。其过程是 α -氨基酸先与 α -酮或二酸进行转氨作用，形成谷氨酸，谷氨酸再氨。生物体内一般的氨基酸氧化酶分布有限，活性转差，而转氨酶和谷氨酸脱氢酶却分布很广。所以生物体内，多采用联合脱氨的方式。

【脱羧作用】氨基酸的脱羧作用，是氨基酸分解代谢的正常过程。脱羧作用是在氨基酸脱羧酶的催化下进行的。生物体内氨基酸脱

羧酶分布很广，而且专一性很强，所以脱羧作用是氨基酸代谢的主要方式。组氨酸脱羧产生组胺、色氨酸脱羧变成色胺、酪氨酸脱羧生成酪胺。组胺可使血管舒张，降低血压。过敏性鼻炎患者，因组胺生成过剩，引起鼻道毛细血管扩张，增加分泌，使鼻涕过多。色胺和酪胺，可使血管收缩，增高血压。绝大多数胺类化合物，对动物有毒害作用。对机体毒害较大的有组胺、色胺、酪胺。还有尸胺（由赖氨酸脱羧形成）和腐胺（由鸟氨酸脱羧形成）。人和动物尸体腐烂后发出的特殊臭味，即由于腐胺和尸胺造成的。

【尿素循环】又称鸟氨酸循环。是高等动物体内尿素形成的过程。尿素的生物合成，是氨和二氧化碳通过尿素循环生成尿素。在形成过程中，需有 ATP、 Mg^{2+} 、天门冬氨酸和一系列的酶参加作用。尿素循环全部反应过程分为 3 个阶段：（1） CO_2 、 NH_3 和鸟氨酸作用合成瓜氨酸；（2）瓜氨酸与天冬氨酸作用产生精氨酸；（3）精氨酸分解放出尿素，同时生成鸟氨酸。鸟氨酸与 CO_2 、 NH_3 ，又可按上述阶段循环往复，继续生成尿素。尿素循环是在肝脏中进行的，以氨基酸代谢产生的氨为氮源，以三羧循环产生的二氧化碳作为碳源。每循环一次消耗 2 分子 NH_3 、1 分子 CO_2 及 3 分子 ATP，形成 1 分子尿素。从而使动物能迅速将对自身有毒的氨转化成无毒的尿素，随尿排出体外。

【代谢调节】又称代谢调控。生物体的新陈代谢是一个完整统一的过程，是在各个反应过程相互影响与相互制约下进行的。错综复杂的代谢过程又受到各种因素的调节控制。代谢的调节机构甚多，可概括为酶的调节、激素的调节和神经的调节 3 种。通过这 3 种调节机构的协作，机体的代谢才能正常运行。一切反应都有酶参

加,酶在代谢反应中所起的作用大小与其浓度和活性有密切关系,细胞内的酶浓度取决于酶的合成速度。因此,控制酶的生物合成和活性,是机体自身调节代谢的重要措施。激素是属于刺激性因素,是联系、协调和控制代谢的物质。各种激素的含量要适量,过多或过少都会使代谢发生紊乱。所以利用激素调节,主要是控制激素的生物合成。中枢神经系统对代谢作用的调节与控制,有直接的,也有间接的。当大脑受到某种刺激后,直接对有关组织、细胞或器官发出指令,使它们兴奋或抑制以调节其代谢,属于直接调节控制。当大脑受刺激后,通过丘脑的神经激素传到垂体激素,垂体激素再传达到各种腺体分泌激素,腺体激素再传到各自有关的靶细胞,对代谢起调节和控制作用,属于间接调节。代谢调节机构的正常运转是维持生命正常活动的必要条件。酶和激素功能的正常是正常代谢的关键,中枢神经系统功能的正常,也是保持正常代谢的关键。

【糖酵解】又称糖解或酵解。机体内葡萄糖(包括由糖原和淀粉放出的葡萄糖单位)形成丙酮酸的一系列反应的总称。糖酵解途径,可概括为下列4个阶段。第一阶段:葡萄糖 $\rightarrow$ 1,6-二磷酸果糖;第二阶段:1,6-二磷酸果糖 $\rightarrow$ 3-磷酸甘油醛;第三阶段:3-磷酸甘油醛 $\rightarrow$ 2-磷酸甘油酸;第四阶段:2-磷酸甘油酸 $\rightarrow$ 丙酮酸。生物体常常利用不同酶催化的逆反应来控制合成代谢和分解代谢。在糖酵解过程中,伴随有能量的转变。但是产生的能量比消耗的能量为多,能量的改变是通过ATP的合成和分解来表现的。与葡萄糖的完全氧化相比较,放出的能量较少。糖酵解的生物功能有分解葡萄糖产生ATP和提供生物合成所需要的物质。

【三羧酸循环】又称柠檬酸循环。糖、脂肪和蛋白质等物质在生物体内氧化的主要途径。糖酵解作用的中间产物丙酮酸经过氧化脱羧后转变成乙酰辅酶 A，和草酰乙酸缩合生成柠檬酸。柠檬酸再经过一系列的脱氢和脱羧作用，重新产生草酰乙酸，这样形成一个循环。每循环一次，使一分子丙酮酸完全氧化为水和二氧化碳，同时放出大量的能量。1 克分子的葡萄糖完全氧化可产生 686 千卡的能量。因此，糖类是人和动物生理活动所需能量的主要来源。三羧酸循环是糖类完全氧化的途径，也是其他化合物脂肪酸、氨基酸等完全氧化的途径。脂肪酸经 β -氧化产生的乙酰辅酶 A，可进入三羧酸循环被彻底氧化，同时产生能量。甘油也可经酵解途径转变成丙酮酸，再氧化脱羧变成乙酰辅酶 A 进入三羧酸循环。蛋白质水解后产生的氨基酸经过一定的转变，成为糖有氧分解的中间产物，然后经三羧酸循环被完全氧化，同时也产生能量。三羧酸循环处在物质代谢的中心位置上，是三大物质（糖、脂、蛋白质）互相转变的枢纽。因此，它具有重要的生物学意义。

【电子传递系统】又称电子传递体系或呼吸链。在呼吸链中，氧化型递体接受氢原子或电子后变为还原型，还原型递体失去氢和电子又变为氧化型。在整个体系中，细胞色素只传递电子，其他递体既可以传递氢，又可以传递电子，所以又称电子传递系统。

【黄酶】又称黄素蛋白。一类以黄素腺嘌呤二核苷酸（异咯嗪腺嘌呤二核苷酸，FAD）和黄素单核苷酸（异咯嗪单核苷酸，FMN）为辅基的氧化还原酶。黄酶在催化过程中，以其异咯嗪部分的氧化还原而参与传递氢和电子的作用。FMN 由 6，7-二甲基异咯嗪核醇和磷酸组成。而 FAD 由一分子 FMN 和一分子腺苷酸联结而

成。

【黄素单核苷酸】 又称异咯嗪单核苷酸，简称为 FMN，是黄酶的辅基。它是由 6, 7-二甲基异咯嗪核醇（维生素 B₂ 或核黄素）与磷酸组成。当人和动物从食物中摄取核黄素后，被肠吸收，在肠粘膜上被黄素激酶催化，使之磷酸化成为磷酸核黄素。黄素单核苷酸与一分子 ATP 作用，则 ATP 中的 AMP 转移到 FMN 的磷酸基上成为腺嘌呤黄素二核苷酸（FAD）。

【化学渗透学说】 英国生物化学家米奇尔运用生物膜的概念，于 1961 年提出来的一种假说。这一假说认为在呼吸链的电子传递过程中，伴随有 H⁺ 从线粒体内膜内侧的基质向内膜外侧介质转移的现象。其结果是内侧基质的 p^H 值增高，而外侧介质的 p^H 值降低。内膜相当于一个质子（H⁺）泵。质子泵利用电子传递过程中产生的能量作为把质子转移到膜外侧的动力。因为质子（H⁺）的迁移能将电子传递产生的能量储存在 ATP 中。ATP 在 ATP 酶的作用下分解，释放出能量，促进质子定向地从线粒体内膜内侧吸收并释放到外侧。在化学渗透学说的推动下，生物能学也取得了很大的进展。

【丙酮酸】 三碳酮酸。糖、脂和蛋白质代谢之间互相转变的关键物质，是在有氧情况下糖酵解的终产物。它在需氧生物中，可以氧化生成乙酰 CoA，然后进入三羧循环和呼吸链，被氧化成水和二氧化碳。在无氧条件下，丙酮酸可还原成乳酸和乙醇。例如哺乳动物的某些组织在缺氧时，丙酮酸作为电子和氢的受体，被还原成乳酸。某些微生物，在无氧条件下，可使葡萄糖酵解产生的丙

酮酸转变成乙醇。

【乙酰辅酶 A】辅酶 A 的乙酰化形式。是三羧循环、脂肪酸氧化和其他代谢反应中的一个重要的中间产物。在正常生理情况下，它可以进入三羧循环，完成氧化，并产生能量或作为合成脂肪酸的前体，去合成脂肪酸。在某种情况下，也可在动物体内生成酮体（乙酰乙酸、丙酮和 β -羟基丁酸）。

物质出入细胞的方式

【被动运输】指通过细胞膜的物质由高浓度向低浓度流动，即顺浓度梯度进行。运动的动力来自浓度梯度，不需要细胞提供代谢能量，细胞膜仅起被动屏障作用。被动运输主要包括自由扩散和协助扩散两种方式。

【自由扩散】又称简单扩散。最简单的一种物质通过细胞膜的运输方式。它不需要消耗细胞本身的代谢能量也不需要专一的载体分子；只要物质在膜两侧保持一定的浓度差即可发生物质运输。物质从浓度较高的一侧通过膜向浓度较低的一侧扩散，故称自由扩散。扩散的速度依赖于膜两侧溶质的浓度差及溶质分子的大小和电荷性质等。所以物质通过膜的扩散和它的脂溶性程度有直接关系。一般来说，极性弱的即脂溶性较强的分子易于通过膜扩散；小的非极性分子易溶于脂质双层，也能迅速地扩散；不带电的极性小分子也容易扩散。水虽然难溶于脂，但由于水分子小、不带电，

而且由于水分子的双极结构使水分子能迅速越过含极性头的脂质双层，膜蛋白的亲水残基构成了膜上微孔的内表面，水分子可以自由通过。

【协助扩散】又称促进扩散。也是一种顺浓度梯度，即物质由高浓度处向低浓度处流动的一种通过细胞膜的运输方式。但这种扩散是通过镶嵌在膜上的载体蛋白或通道蛋白进行的。大多数代谢所需要的物质，尤其是不溶于脂类的物质如糖、氨基酸、核苷酸和盐类等，它们之所以能通过膜，是由于特异性膜蛋白起了作用。这种蛋白称膜传输蛋白。每种传输蛋白仅能传运一类化学物质。协助扩散一般不需要消耗代谢能量。

【主动运输】通过膜的物质，由低浓度向高浓度流动，即逆浓度梯度的运输。主动运输既需特定的膜传输蛋白，又需消耗代谢能。人红细胞中的 K^+ 浓度大大高于血浆中的，即主动运输的结果。

【钠钾泵】一种离子泵。是细胞膜上进行主动运输的一种机制。钠钾泵又可称 Na^+/K^+ 交换泵，其实质是有 Na^+-K^+ATP 酶，这是镶嵌在质膜脂质双分子层上的一种内在蛋白质。ATP 酶在有 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 存在时，能把 ATP 水解为 ADP 和磷酸，与此同时， Na^+ 和 K^+ 发生反浓度梯度方向的穿膜运动，即把细胞内的 Na^+ 泵出细胞外，又把细胞外的 K^+ 泵入细胞内。 Na^+-K^+ATP 酶主要通过构象的变化进行主动运输，而酶的构象是否发生变化又与其是否与高能磷酸根结合有关。在膜内侧， Na^+ 、 Mg^{2+} 与酶结合，激活了 ATP 酶的活性，使 ATP 酶水解，高能磷酸根与酶结合，引起酶构象变化，于是与 Na^+ 结合的部位转向膜外侧，这种

磷酸化的酶对 Na^+ 的亲合力低, 对 K^+ 的亲合力高。因而在膜外侧释放 Na^+ , 而与 K^+ 结合; K^+ 与磷酸化酶结合后, 促使酶去磷酸化, 磷酸根很快解离, 使酶的构象又恢复原状, 于是, 与 K^+ 结合的部位转向膜内侧, 这种去磷酸化的构象与 Na^+ 的亲合力高, 与 K^+ 的亲合力低, 使 K^+ 在膜内被释放而又与 Na^+ 结合。如此反复进行, 就实现了 Na^+ 与 K^+ 的主动运输。

【钙泵】一种离子泵。其实质是 Ca^{2+} -ATP 酶存在于质膜、内质网和线粒体膜上, 偶联 ATP 水解与 Ca^{2+} 活性运输。它消耗 ATP, 使 Ca^{2+} 逆浓度梯度进行运输, 它可将 Ca^{2+} 离子泵出细胞质, 使 Ca^{2+} 浓度在细胞质中维持低水平。 Ca^{2+} 泵由分子量为 10000 的多肽构成, 运输的机制类似于 Na^+ - K^+ 泵, 每水解一个 ATP 分子, 运输 2 个 Ca^{2+} , 并可逆向运输一个 Mg^{2+} 离子。

【内吞和外排作用】细胞膜对一些特定的大分子, 甚至颗粒的运输方式。它涉及到一些有界膜的小囊泡有顺序地形成和融合, 故属于膜泡运输。当细胞摄取大分子或颗粒物质时, 被摄取的物质附着于膜表面, 然后质膜内陷, 形成小囊, 附着物包在里面, 随即分离下来形成小囊泡, 进入细胞内部, 这个过程称为内吞作用。内吞的物质若为固体则称为吞噬作用, 若为液体则称为胞饮作用。与内吞作用相反, 细胞内有些大分子物质, 由膜包围形成小囊泡从细胞内部逐步移至质膜下方, 小囊泡膜与质膜融合, 将物质排出细胞, 这种过程称为外排作用。内吞作用与外排作用与其他主动运输一样也需要能量供应, 所以也属于主动运输。

【受体介导的内吞作用】一些特定的大分子的内吞往往是首先同质

膜上的受体相结合，然后质膜内陷成衣被小窝，并从膜上脱落下来形成小囊泡，称衣被小泡或有被小泡，这种内吞方式称受体介导的内吞作用。这种内吞方式的速度比一般内吞作用快得多。在内吞过程中所形成的有被小泡几秒钟内即脱去其包被，并与胞内体（endosome）的小囊融合，融合后，胞内体内的大分子颗粒与其受体分离并形成两个小囊，一个小囊中含有大分子颗粒，另一个小囊中含有受体。含有大分子颗粒的小囊再依次与初级溶酶体融合形成次级溶酶体，并被次级溶酶体中的水解酶所水解。而含有受体的小囊泡返回到质膜使受体蛋白被循环，又插入衣被小窝，准备再结合其他大分子颗粒。衣被小窝是质膜上的衣被内陷区，占有相当大的面积。衣被小窝与有被小囊的包被是由蛋白质构成的，其成分为笼形蛋白（包涵蛋白）。笼形蛋白是一种纤维蛋白，分子量约为 180000，此外尚有小的多肽分子，分子量约为 35000。笼形蛋白分子呈三分枝状，三个笼形蛋白分子和 3 个小多肽分子形成了包被的结构单位——三叉辐射型单体，为三腿蛋白复合物。由三叉辐射型单体聚合成五面体和六面体呈网格状排列，覆于有被小囊的表面及衣被小窝的细胞质面。衣被与小泡最初的形成有关。

细胞工程

【细胞工程】目前尚无确切的定义。通常指在细胞水平上用一定的方法技术，改变遗传物质的组成，进而改造生物，或者把植物的细胞（花粉）快速地培养成一植株的工艺过程。主要包括细胞融合、细胞核移植、花粉育种等。

【细胞融合】又称体细胞杂交，是将遗传性状不同的生物体细胞进行人工融合，形成杂种细胞，经过培育长成为新个体的过程。又分植物体细胞融合和动物体细胞融合。

【植物体细胞融合】根据植物细胞有细胞壁及具有全能性（指植物的离体细胞经过培养诱导、有再生出完整植株的能力）的特点，进行如下操作。①分离和去壁：常用纤维素酶和果胶酶处理植物组织，使细胞分离开来并除去细胞壁，成为一个个裸露的原生质体；②使不同的原生质体融合：常用聚乙二醇（PEG）促使两种不同的原生质体融合，形成杂种细胞；③诱发杂种细胞分裂，形成愈伤组织：鉴定出杂种细胞并将它放到特殊的培养基中培养，使它分裂成细胞团——愈伤组织；④诱导愈伤组织分化成植株：将愈伤组织转移到另一种合适的培养基中培养，使愈伤组织直接形成新植株，或再转一次培养基使愈伤组织分化出根、茎、叶，最后长成为完整的杂交植株。1972年，有人以两种烟草为材料，获得了世界上第一株经细胞融合而成的杂种植物；后来又得到了烟草与马铃薯、胡萝卜与羊角芹、蔓陀罗与颠茄、番茄与马铃薯等许多杂种个体。有的杂种植株还缺乏经济价值（如“番茄马铃薯”的杂种个体其地下部位还不能长出马铃薯块茎）；有的杂种个体则已收到经济效益（如栽培马铃薯与野生种进行细胞融合，已育出能抗病的马铃薯等）。

【动物体细胞融合】动物细胞一般难表现全能性，但也可以形成杂种细胞，其主要步骤如下。①用适当方法提取异种细胞：如艾氏腹水瘤细胞，可先给小白鼠接种，一周后从腹腔内抽取腹水，经

离心、冲淡而获得；一般游离细胞可先用刀具将组织块剖碎，然后将它们置于无钙、无镁的合适溶液中温育而获得。②用仙台病毒、或 PEG 诱导异种细胞融合。③筛选杂种细胞：应用适当的培养液将所需的杂种细胞从混合液中分离、筛选出来，这种培养液能促进杂种细胞生长，而杀死或抑制其他细胞（包括已融合的同种细胞和未融合的亲本细胞）。目前已获得包括人与鼠、人与兔、人与鸡、鼠与鸡、鼠与猴、鼠与兔等在内的数十种杂种细胞，但还未培养出相应的杂种动物。动物细胞融合的最大成绩是培养出杂交瘤细胞，产生出单克隆抗体。人体的 B 淋巴细胞能产生抗体，但不能在体外培养，几小时后便死亡；而小鼠的骨髓瘤细胞则生长很快，且能无限繁殖。于是科学家便设法将 B 淋巴细胞与骨髓瘤细胞融合，所得的杂种细胞既能象 B 细胞那样产生专性的抗体，又能象骨髓瘤细胞那样不断增殖。单克隆抗体在医学上有很大用处，用杂交瘤细胞生产单克隆抗体，被誉为是免疫学上的一次技术革命。

【核移植】将一个细胞的细胞核移植到另一个细胞中去，以探讨细胞核与细胞质之间关系的一种遗传操作技术。1964 年，英国学者格尔登（J. B. Gurdon）用微吸管将非洲爪蟾（*Xenopus laevis*）的细胞核吸走，或用紫外光照射使核毁坏，然后将蝌蚪的肠细胞核植入。这种换了核的卵多数不能正常发育，但有一部分卵仍能发育成正常的、有生殖能力的成蛙，表明这些核仍保存着全部遗传信息，只要有适宜的细胞质环境，遗传信息就能表达，发育出完整的新个体。1981 年，美国缅因州杰克逊实验室的霍普（P. C. Hoppe）与瑞士日内瓦大学的伊尔门西（K. Ilmensee）以小鼠作核移植实验，也取得了成功。他们从小灰鼠的胚胎细胞中

取出细胞核，植入到小黑鼠刚刚受精的去核卵里，先在试管中培养 4 天，然后再称植到小白鼠的子富内孕育，结果生出的小鼠是灰色的，与“核亲”相似。我国著名胚胎学家童第周与中科院水生所合作，将鲤鱼的胚胎期细胞核移植到去核的鲫鱼卵细胞内，后者发育成一条“鲤鲫核质杂交鱼”，形态介于鲤、鲫之间，能正常繁育后代。这表明细胞质在遗传上也有重要作用，并在实践上开创了一条人工改造生物的新途径——核质杂交，有人称之为细胞质工程。

【花粉育种】又称单倍体育种。将花粉培养成单倍体植株，然后以秋水仙素使染色体加倍，形成二倍体植物的育种过程。1964 年，印度学者古哈（Guha）和马赫施瓦里（Maheshwari）首先将毛叶曼陀罗的花粉培养成一棵幼苗，由此开辟了花粉育种的新途径。主要步骤如下。①培养花药：在灭菌条件下从花蕾中取出合适的花药，放在合适的培养基上，在 25℃ 和光照下培养数日，使花粉分裂成胚状体（如茄科植物）或愈伤组织（如禾本科植物），前者可直接长成植株，后者则需转移到另一种培养基上方能分化出根和芽。②分株培养试管苗：从花药中长出的小苗常在试管内挤成一团，非常细弱且根系不发达，不能直接移到土壤中去栽种，必须先分株移到有培养基的试管中，到根系较发达、长出 4—5 片真叶时再移至花盆，待长出 8—9 片叶后再移到田间。③使染色体加倍：由花粉长出的小苗都是单倍体植株，只有少数能自然加倍，多数需经一定浓度的秋水仙素溶液处理，方能变成二倍体植株。花粉育种的最大优点是能加快育种速度。常规育种从杂交到获得稳定的后代常需 8—10 年；而从培养花药到产生稳定后代一般只需 2 年。目前国际上已有 200 余种植物通过花药培养获得再生植株，其

中我国培育的有 40 余种。中国农科院作物所培育的“中花 8 号”和“中花 10 号”水稻新品种，北京农科院育成的“京花 1 号”和“京花 3 号”冬小麦新品种，具有优质、高产、抗病、抗盐碱等优良特性，已累计种植数百万亩，增产粮食数千万公斤。

高等植物的 结构和生活

植物的组织和器官

【植物组织】植物体内，来源、功能相同，形态结构相似，而彼此紧密联系在一起的细胞群。植物组织按其形态结构和功能的不同，可分为分生组织、薄壁组织、保护组织、机械组织、输导组织和分泌组织。由于后 5 类均由分生组织分生、分化而来，故又统称成熟组织或永久组织。

【分生组织】又称生长组织。由许多具有分生能力的细胞构成，是植物体的生长部位。其特征是细胞体积小，排列紧密而无细胞间隙，细胞壁薄，细胞质浓，细胞核大，无明显的液泡，代谢作用旺盛，具有强烈的分生能力。一般按所处位置不同，又细分为以下 3 种分生组织：（1）顶端分生组织，位于根、茎主轴及分枝的顶端（即生长点），由于它的分生，使根、茎、枝不断伸长。顶端

分生组织中可以有多个或只有一个原始细胞具有持续分生的能力，由它增生的细胞不断分化，形成其他组织，而使根、茎的顶端不断生长。叶的发育早期，一般亦有顶端生长，但时间较短。

(2) 侧生分生组织，存在于裸子植物、双子叶植物的根与茎中，包括形成层和木栓形成层，一般为由一、二层细胞构成的圆筒形结构，由于它能向轴内外增生细胞，并分化为其他组织，故可使根、茎不断加粗。单子叶植物没有侧生分生组织所以根、茎不能加粗。

(3) 居间分生组织，位于植物茎的节间和叶鞘的基部，如禾本科植物的节间基部因有居间分生组织而能增生细胞。通过细胞的分化和生长，使节间能作一定的伸长，如竹笋长成竹等等。韭菜、大葱的叶鞘部亦有居间分生组织，所以它们的叶子亦有一定的生长能力。此外，亦可按性质与来源不同，将分生组织分为 3 种。

(1) 原分生组织，来源于种子的胚，位于根、茎轴和分枝的最先端，由一群原始细胞组成，能较长期地保持旺盛的分裂机能。

(2) 初生分生组织，由原分生组织衍生出来的细胞组成，它的特点是：一方面细胞仍保持分裂能力，另一方面细胞已开始发生分化。

(3) 次生分生组织，由某些薄壁细胞如表皮、皮层、中柱鞘等细胞重新恢复分裂机能形成，如木栓形成层、根的形成层和茎的束间形成层等。可见顶端分生组织相当于原分生组织及其衍生的初生分生组织；侧生分生组织相当于次生分生组织；居间分生组织从来源看属于初生分生组织。

【机械组织】又称支持组织。由加厚细胞壁的细胞组成的组织，能加固和支持植物器官。幼嫩的器官常没有发达的机械组织。根据细胞壁增厚的方式和细胞的形态，机械组织可分为厚角组织与厚壁组织。厚角组织的细胞是活细胞，常含叶绿体，细胞壁由纤维

素和果胶组成，不木质化，呈不均匀的增厚。多见于草茎和叶柄，常位于近表皮的周缘部分。厚壁组织由细胞壁显著加厚、且木质化的细胞组成。成熟厚壁组织的细胞是死细胞，包括纤维和石细胞两大类。

【保护组织】包被在植物各器官的表面，保护内部器官的组织。能防止水分过度散失、病虫害的侵害和机械的损伤以及外界环境的不良影响。可分为表皮组织（属于初生保护组织）和木栓组织（属于次生保护组织）。表皮组织为大多数草本植物的器官终生具有；而木本植物除叶片外，茎和根则仅见于幼年时期。叶表皮通常互相嵌合为一层排列紧密、不含叶绿体的活细胞，外壁往往有角质层，许多表皮上还长出各种各样的茸毛（腺毛或非腺毛）、鳞或被覆盖蜡质层，有的表皮还矿质化或硅质化，也起保护作用。水分的调节和控制是靠气孔来实现的。在植物的枝和树干上，表皮里面的木栓形成层，不断地向外产生出许多细胞，并迅速栓化而形成了木栓组织。木栓组织由多层木栓细胞组成，细胞为扁平的、排列紧密的死细胞，胞壁栓质化，不易透水和透气，是周皮的一部分，通过皮孔进行气体的交换和调节。

【输导组织】植物体内由管状细胞构成的，运输水分、无机盐类和营养物质的组织。其特点是：细胞长形，常上下相连，形成适于输导的管道系统。可分为两类：一类是木质部中的导管和管胞，主管上行输送水分与无机盐溶液，由死细胞组成。导管是被子植物最主要的输导组织（少数裸子植物如麻黄也有），输水效能高。另一类是韧皮部中的筛管、伴胞或筛胞，主管下行（也有上行）输送养料的活细胞组成。筛管由一系列筒形细胞组成；伴胞常由筛

管旁边一个或多个小型薄壁细胞组成，功能不清，可能与运输有关。裸子植物没有伴胞。筛胞则是裸子植物与蕨类植物运输养料的结构。

【薄壁组织】又称基本组织。由主要起代谢和营养作用的薄壁细胞组成，故又称营养组织。在植物体内分布很广，占有最大的体积。其特点是：细胞壁薄，由纤维素和果胶构成，液泡较大，具单纹孔。细胞是原生质体的活细胞，呈球形、椭圆形、圆柱形或多面体、星形等。有细胞间隙，还具有潜在分生能力，可进一步发展为其他组织如石细胞之类。对于创伤的愈合，不定根、不定芽的产生，插条繁殖，嫁接的成活以及离体组织培养、愈伤组织的形成等都有重要作用。按结构和功能可分为：(1) 基本薄壁组织，常存在于根、茎的皮层和髓部，起填充、联系作用，并有转化为次生分生组织的机能。(2) 通气薄壁组织，多见于水生沼泽植物，如水浮莲、莲的叶柄，藕、灯心草的髓部，有漂浮和支持作用。(3) 同化薄壁组织，多见于叶肉及茎的绿皮层，细胞内含叶绿体，可行光合作用，制造营养物质。受刺激后，在一定条件下能恢复分生能力。(4) 吸收薄壁组织，位于根尖、木质部和髓部，细胞细长，能吸收水分和营养物质，并运送到输导组织中，如髓射线等。(5) 贮藏薄壁组织，多见于植物地下部分及果实、种子中。细胞较大，含有大量淀粉、糊粉粒、脂肪、油滴或糖类等营养物质。有些肉质植物如仙人掌、芦荟、龙舌兰等叶片中的薄壁细胞含大量水分，又称贮水薄壁组织。

【厚角组织】植物机械组织之一。由含原生质体、有一定分裂潜力、常含叶绿体、可进行光合作用的厚角活细胞组成。在横切面上细

胞常呈多角形。最显著的特征是具有不均匀加厚的初生壁，一般在细胞角隅处加厚，也有的在切向壁靠胞间隙处加厚。细胞壁由纤维素和果胶质组成，不含木质素。既有坚韧性又有可塑性和伸延性，可支持器官直立，又适于器官的迅速生长。多见于草质茎和尚未进行次生生长的木质茎中及叶柄、花柄外侧或表皮下面。成束或成环分布。根中少见。可分为：（1）真厚角组织，又称角隅厚角组织，最普通的是胞壁显著加厚部分在几个相邻细胞的角隅上，如南瓜、酸模、桑、蓼、榕树等。（2）片状（板状）厚角组织，主要在切向胞壁上加厚，如大黄、地榆、细辛、接骨木等。（3）腔隙厚角组织，具有细胞间隙的厚角组织，细胞壁的加厚对着空隙，如锦葵、鼠尾草、夏枯草和许多菊科植物等。

【厚壁组织】植物机械组织的一种。由多种厚壁细胞组成。其特点是：都具有显著增厚的次生壁，并有层纹和纹孔，胞腔很小，大都木质化，细胞成熟后，生活的原生质消失。一般说，是没有生命的结构。它在形状、构造、起源和发育上有较大的差异，故有不同的类型，主要分纤维和石细胞两大类。纤维是一种细长的厚壁细胞，一般为死细胞，呈纺锤形，胞腔狭小。由于分布、形态、构成的不同又分为韧皮纤维和木纤维，见于麻类。石细胞是植物体内特别硬化的厚壁细胞，它的种类很多，形状不一，成熟后成为坚硬的死细胞，具坚强的支持作用，常见于茎、叶、果实和种子中。

【吸收组织】位于根尖部位，能从土壤中吸收水分和营养物质的薄壁细胞组织，又称吸收薄壁组织。特点是细胞细长、胞壁薄，便

于水分和溶于其中的营养物质通过，并运到输导组织中去。除水生植物没有根冠和根毛外，陆生植物的根尖都包括根冠、生长点、伸长区、根毛区 4 个部分。为适应吸收，根冠外层细胞与土壤摩擦损伤易脱落，产生粘液，有助于根的向前延伸，使生长点得到保护。根冠里层细胞不断分裂，产生新的细胞加以补充，使根冠维持一定形状和厚度。生长点为顶端分生组织，不断产生许多新的薄壁细胞，经过生长，逐步形成根的各部组织。伸长区迅速延伸，同时开始分化。根毛区的表皮细胞向外扩展形成根毛，增加吸收面，是吸收水分和无机盐的主要部位。根毛还能分泌多种酸类，以溶解土壤中不易溶解的物质，以利于吸收。

【分泌组织】植物体表或体内特化的、能分泌或贮存某些特殊物质（如乳汁、蜜汁、挥发油、树脂等）的单细胞或多细胞结构。根据其分泌物排出体外或在体内积累，而分外部的分泌组织和内部的分泌组织。前者如腺毛、蜜腺、排水器和消化腺等；后者如分泌细胞、分泌囊、树脂道和乳汁管等。分泌组织的功能很多，如有的可防止植物组织腐烂，帮助因雷电、虫害或机械造成的创伤愈合，免受动物啃食，排除或贮积体内废物等；有的可引诱昆虫以利传粉；或产生螫毛、特殊臭味迫使人畜避而远之。分泌物对植物自身无毒害作用，并可作为鉴定物种的依据。有些则是植物的代谢废物，人们现正进一步研究开发和利用这些分泌物。

【通气组织】植物体内基本组织中的一种，适应水生环境而特化的薄壁细胞组织。在这些水生沼泽植物体内的薄壁组织中，具有相

当发达的细胞间隙，在发育过程中逐渐相互联结，最后形成了四通八达的管道和空腔，这些管道与空腔内贮存着大量的空气。不仅有利于呼吸作用，而且能使植物漂浮起来（繁衍移位），如水稻的根、水浮莲和菱的叶柄、莲藕的根茎以及灯心草的茎髓等。因此，无论是水生植物中的挺水植物（如芦苇、泽泻、菖蒲等），或是浮水植物（包括浮叶植物如浮萍、满江红、凤眼莲、槐叶萍等），和有根茎以及根埋于水底、叶浮于水面的植物（如莲、水浮莲、菱等），特别是沉水植物（如全沉水中的苦草、金鱼藻、狐尾藻、黑藻等），它们的通气组织都很发达。

【植物表皮】由植物的分生组织原表皮分生而来，通常由单层无色而扁平的活细胞构成。其特点是细胞排列紧密，无细胞间隙，胞核大，具大型液泡，一般不含叶绿体。它是植物体与外界环境接触的最外层细胞，其结构特征与功能密切相关。如旱生植物表皮除排列紧密外，胞壁厚并有角质层覆盖，可防止水分散失、微生物侵袭和机械或化学的损伤，还有表皮的其他附属物（如蜡质）渗入到角质层里或分泌在角质层之外，形成蜡被，如冬瓜皮、葡萄皮、樟树叶等。有的植物表皮细胞矿质化，如木贼和禾本科植物叶的硅质化。还有各种各样的茸毛，如各种腺毛、腺鳞和非腺毛（包括乳突、线状毛、棘毛、钩毛、螯毛、分枝毛、丁字毛、星字毛、鳞毛、冠毛和种缨等）。此外，表皮尚有气孔与外界进行气体交换；还有木栓、周皮和皮孔以及扩大根毛等。

【根】植物的营养器官，是茎向下或在水中的延伸。根对植物来说

除起着固着和吸收作用外，还有合成和贮藏有机物质以及进行营养繁殖的功能。根同茎一样有分枝，但分枝来源不同。藻类和苔藓植物没有根，蕨类植物中最原始的松叶蕨、梅西蕨和古代最早的陆生化石莱尼蕨也没有真正的根，只在地下的根状茎上有具有吸收功能的假根，大多数现存的蕨类植物、裸子植物和被子植物才有真正根的结构。有些植物的根，在形态、结构和生理功能上，都出现了很大的变化。这种变化称为变态，即变态根。变态根是植物长期适应环境的结果，其特性形成后相继遗传，成为稳定的遗传性状。

【根系】指一株植物的主根及其全部侧根（见图）。禾本科植物的须根系与鳞茎类植物的不定根，也是构成根系的基本成分。根系常有一定的形态，可分为：（1）直根系，主根发达、主根和侧根有明显的界限，主根常呈圆锥状，较粗大，垂直向下生长，又称定根。主根分枝为侧根，侧根的分枝称支根，支根的分枝为小根，小根的先端着生根毛。由主根、侧根、支根、小根、根毛所组成的根系，称为直根系。如胡萝卜、人参、棉、蒲公英等。（2）须根系，主根不发达或早期死亡，主根和侧根不明显，在主茎的基部产生许多不定根，簇生一处，这样的根系即为须根系，如葱、蒜、稻、麦、玉蜀黍等。不同的植物都有自己的根系类型，即使同一种植物，因生长环境不同，根系也往往发生很大的变化。

直根系和须根系

1. 主根 2. 侧根 3. 纤维根

【根端结构】根的顶端部分的结构。除水生植物没有根冠而外，一般陆生植物包括两栖植物（如两栖蓼）的根都包括根冠、生长点、伸长区、根毛区 4 个部分（见图）。（1）根冠：套在生长点上，当根在土壤中生长时，根冠外层细胞与土壤摩擦损伤或脱落，而生长点却得到了保护。根冠里层细胞不断产生新的细胞补充替换，使根冠能维持一定形状和厚度。外层细胞损伤破坏后，产生粘液，有助于根的向前推进和伸展。（2）分生区：即生长点，又称生长锥。位于根冠上方，呈圆锥状，长 1 毫米，为顶端分生组织所在部位，可不断增加细胞数量，经生长与分化，逐步形成根的各种组织。（3）伸长区：又称延长区。位于生长锥之上到有根毛处，细胞迅速延伸，同时开始分化。（4）根毛区：即成熟区。细胞分化形成各种初生组织，尤其是表皮的部分细胞向外形成根毛，并不断更新。根毛的产生，扩大了吸收面积 5—20 倍，是吸收水分和无机盐的主要部位，还能分泌多种物质如酸类，溶解土壤中不易溶化

的部分。从而增加了吸收面积，但水生植物没有根毛。

根尖的构造

1. 根毛区 2. 伸长区
3. 生长区 4. 根冠

【根的初生构造】即初生根的结构。只有根毛区（成熟区）以上才有明显的组织分化。分为两种类型。（1）双子叶植物根的初生构造（由外向内）：（1）表皮，由一层排列紧密的表皮细胞构成，部分细胞向外延伸成为根毛，有吸收能力。（2）皮层由薄壁细胞组成，兼有吸收、运输和贮藏的功能。外皮层又称下皮层，由靠近表皮层的 1 至数层排列紧密的细胞组成，在表皮脱落后常木栓化增厚。皮层的主要部分为中皮层，细胞间隙大，排列疏松。内皮层为皮层最内的一层，排列整齐紧密，除通道细胞的胞壁未增厚，养料、水分可自由通过外，其余细胞的径向壁和上、下横壁皆木质化，成一完整的圈，称为凯氏带（Casparian strip）；在横切面上呈极小的点称为凯氏点。（3）中柱，内皮层以内的部分。主要

包括中柱鞘（为紧靠内皮层的一层薄壁细胞，有分生能力，当它进行周期性分化时，能产生周皮、不定芽、侧根和次生维管束等次生组织。）和维管束（位于中柱鞘内，由初生木质部和初生韧皮部交互排列组成，呈辐射状）。初生木质部呈星角状，随种类不同而异，如十字花科、伞形科中只有两个角的初生木质部称“二原型”；毛茛科的唐松草属有3个角称“三原型”；葫芦科、杨柳科及毛茛科毛茛属的一些植物有4个角称“四原型”；数目很多的称“多原型”。某些单子叶植物竟达数百个之多。近年试验表明，在根的离体组织培养中发现，培养基中生长素吲哚乙酸的含量可影响初生木质部束角的数目。导管由外向内，由小到大的渐次分化称“外始式”。韧皮部位于辐射状木质部之间，紧靠中柱鞘，细胞细小，排列紧密。木质部与韧皮部之间一些稍大的薄壁细胞，当它们恢复分生能力，并与中柱鞘细胞同时转化为形成层细胞后，根的初生构造即开始转入次生构造。双子叶植物的根中没有髓或仅有少数几个薄壁细胞组成的髓。（2）单子叶植物根的初生构造，基本与双子叶植物根的初生构造相似。不同在于：1. 表皮角质化、木栓化或木质化。2. 外皮层偶有木纤维，中皮层比较一致，内皮层除通道细胞外，其余细胞的壁均呈木栓化或木质化增厚。3. 中柱木质部星角常达8—30余处。髓部发达。中柱鞘内一切薄壁细胞均无分生能力。无形成层，无次生组织构造。

【根的次生构造】即次生根的结构。存在于裸子植物与双子叶植物的根中。当根内的中柱鞘及初生木质部与初生韧皮部之间的薄壁细胞恢复了分生能力，形成木栓形成层和维管束形成层后，维管束形成层向内产生次生木质部（包括导管、管胞、木质薄壁细胞和木纤维），向外产生次生韧皮部（包括筛管、伴胞、韧皮薄壁细

胞和韧皮纤维)而形成新的次生维管束。木栓形成层向内产生栓内层,向外产生木栓层,三者合称“周皮”。周皮以外的表皮和皮层,由于内部失去水分和养料而枯死,被周皮所取代。中药的根皮类药材如桑白皮、牡丹皮和香加皮就是韧皮部加周皮。这些次生生长的结果,使根得以长大和加粗,并产生了有关的次生组织构造,包括侧根的形成和不定芽的发生等。在木本植物的次生维管束中,常由呈辐射排列的薄壁细胞组成的射线,根据所处部位分别称木质射线和韧皮射线,这种射线都是束中射线,属次生组织。有的植物射线较宽,将次生维管束分割成若干束。这些射线都具有横向运输水分、养料的功能。此外,在多年生草本植物的周皮中,栓内层较发达,亦有类似的功能,故称“次生皮层”。在根的次生生长的同时,初生韧皮部遭受次生维管束的挤压,而被破坏。在次生韧皮部中,常有各种分泌组织,如蒲公英根的乳汁管、人参的树脂道、当归的油室等。薄壁细胞中常含有结晶体及贮藏多量的营养物质如糖类、生物碱等。单子叶植物根没有形成层,故不能加粗;又无木栓形成层,故亦不能形成周皮,只能由表皮或外皮层起保护作用,也有一些单子叶植物,如麦冬、百部等分裂成多层细胞并且木栓化,形成“根被”的保护组织。有一类根的异常构造,为某些双子叶植物所特有,称为三生构造。其特点在于皮层中又有新的形成层环,不断产生并形成新的异型维管束。有两种方式:第一种与原有形成层呈同心排列。又分为:(1)能不断产生新形成层环,而且自始至终保持分生能力,形成一层层同心排列的异型维管束,如商陆等。(2)能不断产生新的形成层环,但仅最外一层保持分生能力,而里面的各同心排列的形成层环,在异型维管束形成后即停止活动,如牛膝等,在横切面上可见维管束呈点状,类白色,连续排成数圈,中心的维管束

较大。第二种方式对原有的形成层环来说是异心排列，数个新的形成层环在原有的形成层外侧四周的皮层部分同时产生，并分别形成各自的异型维管束，如何首乌等。在横切面上可看到一些大小不等的圆圈状的纹理，是木材、药材鉴别的重要依据。

【变态根】由于功能改变引起形态和结构发生变化的根。主要有：

(1) 贮藏根，植物一部分或全部形成肉质肥大的根，内含大量营养物质，供越冬之用，如胡萝卜、桔梗、丹参等。贮藏根又可分为圆锥根、圆柱根、圆球根和块根。(2) 支持根，自接近地面的茎节上，产生不定根深入土中，以增强茎干的支撑力量。如玉蜀黍、高粱、甘蔗等。在热带海滩上的红树林，生有“支柱根”，自树干基部生出，伸入土中呈“弓”状，纵横交错，使人难以通行。还有一种“板状根”，如人面子属、榕属、木果栋属等热带木本植物。支柱根和板状根都是抗风浪的一种适应。(3) 气生根，由茎上长出在空中的不定根，具有在潮湿的空气中吸收和贮藏水分的能力，如榕树、石斛等。此外，在海边土壤通气不良的条件下，红树植物长出许多突出地面的“呼吸根”，呈指状、蛇状、匍匐状，这些根的外表有粗大的皮孔，便于通气，内有海绵组织相互贯通可贮空气。热带雨林中还有一类“绞杀植物”。这类植物的种子常在高大乔木（支柱植物）上发芽，幼苗成长后形成向地的气生根，一些根紧紧包围乔木的树干，相互交错地向下扩展，呈网状而伸入地下，变成正常根系；另外一些气生根先在空中垂悬，到达地面也入土。这两类根逐渐增多并相互融合，一直到支持的树干被包围、绞杀而死亡腐烂，被毁植物在原地留下一个空筒，其外则是一株正常生活的植物，如桑科的榕属植物。(4) 寄生根，寄生植物的根插入寄主植物体内，吸取水分和营养，如列当、菟丝子

等。它们体内不含叶绿素，不能自制养料，完全靠吸收寄主体内的养分为生，称“全寄生植物”；而桑寄生和槲寄生等植物，一方面靠吸收寄主体内的养料，同时自身也有叶绿素，可制造一部分养料，称“半寄生植物”。(5) 攀援根（附着根）。攀援植物的茎上产生出的不定根，能攀援在它物之上，如常春藤、薜荔、络石等。(6) 水生根。生活在水中或飘浮水面，根系退化呈须状，甚至维管束和机械组织都不发达，体内细胞间隙多，空腔中充满空气，既能供氧，又可调节浮力，如浮萍、狐尾藻、金鱼藻等。

【芽】尚未发育成茎、枝叶和花的雏型。芽是由芽轴的顶端分生组织及其叶原基、腋芽原基和幼叶等外面包围着的附属物如鳞片等所组成。芽的类型很多，位于芽轴或侧枝顶端的称顶芽，位于叶腋内的称腋芽。顶芽和腋芽都有一定位置，称定芽，无一定位置的芽称不定芽。能发育成枝叶的称叶芽，能发育成花或花序的称花芽，能同时发育成枝叶和花或花序的称混合芽。芽外包被有鳞片的称鳞芽，如杨柳。芽外无鳞片包被的称裸芽，如茄、桉。独生一处的称单芽，如樟。顶芽或腋芽旁生出的一两个小芽，称副芽。数个芽并立在一起的称并立芽，如桃。处于正常生长发育的芽，即当年形成，当年萌发或次年春天萌发称活动芽；长期处于休眠状态暂不萌发，待条件具备后才萌发的称休眠芽或潜伏芽。花卉园艺上的剪枝去芽、农业上棉花的整枝打荏、去顶摘心，均能控制株型，保证果枝充分发育，在林木和果树上进行芽接可以增产和改良品质。

【茎】具有输导营养物质和水分，以及支持叶、花和果实在一定空间的维管植物地上部分的骨干。一般呈圆柱形；有的呈方形，如

唇形科的黄芩；有的呈三角形，如莎草科植物荆三棱；有的呈扁平形，如仙人掌。茎的中心常为实心，也有中空的，如空心菜、南瓜等。尤其是禾本科植物的茎有明显的节称为秆。在茎枝上着生叶和腋芽的部位称为节，两节之间称节间。茎外形的主要特征就是具节与节间，茎枝上生叶，而根则无节与节间的区别。在茎枝的顶端着生的芽称顶芽，萌发成主干或顶枝。在叶着生处，叶与茎的夹角称叶腋，所生的芽称腋芽，萌发成主干或侧枝。在木本植物的茎枝上，叶、托叶及芽的鳞片脱落后留下的痕迹，分别称叶痕、托叶痕与芽鳞痕。茎枝表面上隆起的裂隙状小孔称皮孔，这些都可作为鉴定植物的依据。一般植物茎节稍膨大，有的膨大成环如牛膝、玉米等；有的茎节反较节间小，如藕；有的节间长达几十厘米，称长枝，如竹、南瓜；有的在1毫米以下称短枝，如蒲公英；有的长短居中，如松与银杏等。

【分枝方式】植物体分枝的样式，具有一定的规律性。不仅根、茎、叶有分枝，就是复叶的叶柄、叶脉和其他器官的维管束，甚至花序也都进行分枝。分枝能够使植物体的表面积加大和扩大吸收面积。不同的植物有不同的分枝方式，一般可分为二叉分枝式、总状分枝式（单轴分枝式）、假二歧分枝式和合轴分枝式4种类型（见图）。前两种为原始类型。总状分枝式又可发展成假二歧分枝式；其中合轴分枝式比较普遍，合轴分枝对经济作物（谷类、蔬菜、棉花和果树等）的丰产有重要意义。因为顶芽的存在抑制了腋芽的生长，一定时间后腋芽生长迟缓以至死亡，常被新生的腋芽或潜伏芽所代替，不久又衰竭死亡，这样反复发生，促使枝条缩短，从而增加了果枝的叶、花数量，扩大了光合作用的面积，带来增产与丰收。

分枝方式

a. 二叉分枝式 b. 总状分枝式（单轴分枝式） c. 假二歧分枝式 d. 合轴分枝式

【单子叶植物茎的结构】大多数单子叶植物茎只有初生构造。以禾本科植物为代表，从茎的节间部分横切面观察，其结构特点是：自外而内依次为表皮、机械组织、基本组织、维管束，中央具髓（如玉米等）或具空腔（如小麦等），皮层与髓间无明显界限；维管束均为外韧维管束，有的呈星散排列（如玉米、高粱等），有的大体排列成小圈（如小麦等）；无形成层，因而无次生结构。少数单子叶植物的茎具形成层，有次生生长，如龙血树、丝兰等，但它们的形成层的来源和活动与双子叶植物有所不同，如龙血树的形成层是从维管束外的薄壁组织中发生的，而且向内产生维管束

和基本组织，向外产生少量的薄壁组织。

【双子叶植物茎的结构】通常包括初生结构和次生结构。前者是由茎尖的初生分生组织经过细胞分裂、生长和分化形成的结构，其生长过程是伸长生长。通过茎尖成熟区的节间横切面观察，初生结构是由表皮（包括表皮细胞、气孔器，有的具表皮毛或腺毛等）、皮层（包括薄壁组织，许多植物的皮层中还有厚角组织或厚壁组织，有些还具内皮层等）、维管束（包括初生韧皮部、初生木质部和束中形成层）、髓和髓射线等组成的。双子叶植物茎的次生结构是由维管形成层、木栓形成层等次生分生组织经过细胞分裂、生长和分化产生的，这种生长可使茎不断地增粗。但草本双子叶植物的茎由于生活期短，不具形成层或形成层活动很少，所以只有初生结构或仅具不发达的次生结构。而在多年生的木本植物中，次生分生组织发达，具有发达的次生结构。从其横切面观察，次生结构通常是由周皮（包括木栓层细胞、木栓形成层、栓内层以及皮孔等）、皮层、次生维管组织（包括若干轮次生韧皮部、次生木质部和形成层）、髓、髓射线和维管射线等组成。在实验教学中，通常用椴树茎作为观察材料。

【变态茎】由于环境的变迁而引起的功能、形态和结构变化的茎。主要有地上茎和地下茎两种变态。地上茎变态主要有：（1）叶状茎、又称叶状枝。茎或枝扁化，绿色，具叶的功能，真叶退化为膜质鳞片状、线状或刺状。如仙人掌、假叶树、扁竹蓼等。（2）刺状茎，枝条变成坚硬的针刺（枝刺或棘刺），具保护作用。刺分枝如皂荚、枳；刺不分枝如山楂、酸橙、木瓜。（3）茎卷须，部分

枝条变为分枝或不分枝的卷须，攀援用，如南瓜、葡萄、栝楼等。

(4) 小块茎及小鳞茎。山药的侧芽形成小块茎（珠芽、零余子）另有黄独、薯蓣在叶腋处长出其小块茎；野葱、大蒜或洋葱的叶腋或花芽中生有小鳞茎，均具繁殖作用。地下茎的变态主要有：

(1) 根茎或称根状茎，直立或匍匐，有明显的节与节间，节上有鳞片叶，如芦苇、白茅，有的粗厚肉质如黄精、玉竹、藕。(2) 块茎，短而膨大成不规则块状，叶退化成小鳞片或枯萎脱落如马铃薯、半夏、独角莲、天麻、延胡索等。(3) 球茎，球形或扁球形，节明显，节间短，节上有较大的膜质鳞片，顶芽发达，基部生不定根，如慈姑、荸荠等。(4) 鳞茎，呈球形或扁球形，由许多肉质肥厚的鳞片叶构成，基部中央有鳞状盘（退化的茎）。又分无被鳞茎和有被鳞茎，前者鳞片狭呈覆瓦片状排列，如百合、贝母等；后者鳞片阔，鳞叶内层肉质、外层膜质如大蒜、洋葱等。

【叶】植物的重要营养器官。由茎的顶端分生组织周缘区的叶原基进一步生长和分化形成。叶一般为绿色扁平体，两侧对称，具向光性，形态上一般由叶片、叶柄和托叶组成，结构上则由表皮、叶肉和叶脉组成。同时具有叶片、叶柄和托叶的叶称为“完全叶”，缺少一个或两个组成部分的称“不完全叶”。叶的主要功能是进行光合作用、完成呼吸作用和蒸腾作用。有些植物的叶还有贮藏作用（如百合、洋葱和贝母的肉质鳞片叶）；还有少数植物的叶有繁殖作用（如秋海棠、落地生根的叶）等。某些植物的叶片可作蔬菜，茶叶、柿叶、艾叶、竹叶、大青叶、枇杷叶、薄荷叶等可作饮料或药品，此外，绿化、美化环境、草原牧草、观赏植物、养

殖饲料、果园林场、芦苇菱塘，均与植物的叶子有关。叶片的形状即叶形，因植物种的不同而有很大的变化。

【叶的组成】典型的叶由叶片、叶柄和托叶组成。同时具备这三部分的叶称为“完全叶”，如梨，柳。缺少叶柄或托叶的，如莴苣、石竹。凡缺少其中一个或二个组成部分的称“不完全叶”。叶片是叶的主要部分，一般为绿色薄的扁平体，顶端称叶端或叶尖，基部为叶基，周边为叶缘，叶片中有叶脉，叶柄是茎枝与叶片联系的部分，起支持作用，常呈柱形或稍扁平，有沟槽，有的植物叶柄扩大成叶鞘，如白芷。有的叶柄退化形成叶状柄，如台湾相思树。托叶常狭小细长，多生长在叶柄基部两侧，有保护幼小叶片的作用，长大后常脱落；也有不脱落的，如蔷薇。托叶变化较大，有的大如片状，如豌豆；有的形成托叶鞘，如辣蓼；有的变成卷须，如菝葜；有的变成刺状，如刺槐；有的托叶似叶片，如茜草。但托叶无腋芽，可与叶片相区别。

【叶的形状】叶片的形状即叶形。(1) 叶片全形：叶片的形状随种类而不同，甚至在同一植株上有不同形状叶子，这种现象称“异形叶性”，如蓝桉幼枝上叶呈对生、无柄的椭圆形叶，老枝上的叶呈互生、有柄的镰形叶。在叙述叶片时，常加“广”、“长”、“倒”等字在前面，如广卵形（马甲子）、长椭圆形（金丝梅）、倒披针形（鼠曲草）等。(2) 叶端形状：叶的顶端部分称叶端。(3) 叶基形状：叶片的基部与叶柄相连，(4) 叶缘形状：叶的周边称叶缘，(5) 叶的分裂：叶片边缘有较深的凹凸不齐的裂刻，称

分裂或缺刻。一个叶柄上生有两个以上的小叶片称复叶，复叶是由单叶的叶片分裂成多个小叶形成。有下列几类：(1) 三出复叶：在总叶柄上着生三片小叶。如豆科植物。(2) 掌状复叶：在总叶柄上着生三片以上小叶。如人参等。(3) 羽状复叶：在总叶柄上着生四片以上小叶。呈羽状排列。羽状复叶顶端具有 1 小叶的称单数羽状复叶，如苦参等。羽状复叶顶端具有 2 小叶的称偶数羽状复叶如花生等。总叶柄作一次羽状分裂，每一分枝上又形成羽状复叶称二回羽状复叶。如合欢。总叶柄作二次羽状分裂。每一分枝上又形成羽状复叶称三回羽状分裂。如南天竹等。单身复叶：总叶柄顶端有一片发达的小叶，叶基部有明显的关节，叶柄两侧形成翅状。如芸香科植物柚、橙、桔等。

【叶序】叶在茎或枝上的排列方式。使叶片互不遮盖，利于接受阳光。常见的类型有（见图）。(1) 互生叶序：叶着生的茎或枝的节间部分较长，各茎节上只着生一片叶子，各叶片常沿茎枝呈螺旋状排列、交互生长。如桑、樟等。(2) 对生叶序：叶着生的茎或枝的节间部分较长且明显，各茎节上有 2 片叶子相对着生，有的与相邻的两叶成十字形排列，成交互对生，如龙胆、忍冬；有的排列于茎的两侧，成两列状对生，如水杉等。(3) 轮生叶序：叶着生的茎或枝的节间较长，各茎节上有 3 片以上的叶呈轮状着生，如轮叶沙参、夹竹桃等。(4) 簇生与丛生叶序：叶着生的茎或枝，节间部分较短且不明显，各茎节上着生叶片一至数片，都自茎节上一点发出，如毫猪刺等。叶序是鉴定植物的重要依据之一。

叶序

- a. 互生叶 b. 对生叶
- c. 轮生叶 d. 丛生叶

【脉序】叶脉在叶片上的分布和排列方式。叶脉是叶片中的维管束，是植物运输水分和养料的通道，并有支持叶片的作用，通过叶柄与茎内维管束相连。叶脉分为主脉、侧脉和小脉。叶脉按其脉序分网状脉和平行脉两大类（见下页图）。网状脉的主脉粗大，与小脉联结成网，是大多数双子叶植物叶片的特征。可分为掌状网脉和羽状网脉。掌状网脉有主脉数条，从叶柄顶端射出，与小脉形成网状，如丝瓜等。有的主脉数条从叶片中央向四周辐射，如荷

叶。在羽状网脉中，主脉仅一条，主脉两侧再分出许多侧脉和小脉交织成网，如茶叶等。平行脉多呈平行分布，是大多数单子叶植物叶片的特征，可分为射出平行脉（如棕榈、蒲葵等），直出平行脉（如竹叶、玉米等），横出平行脉（如芭蕉等）。弧行脉的叶较宽而短，如玉簪、铃兰等。此外，还有一种二叉分枝脉，如扇形的银杏叶。

【叶片结构】一般由表皮、叶肉、叶脉 3 部分组成。表皮为叶片表面的一层初生保护组织，包被了整个叶片，多由一层排列紧密的扁平状表皮细胞组成。但也有少数植物例外，如夹竹桃叶和海桐叶的表皮，由 2—3 层细胞组成；印度橡皮树的叶表皮则由 3—4 层细胞组成。除气孔的保卫细胞外，常不含叶绿体，分上、下表皮。上表皮上常有角质层或蜡质层，有的表皮细胞常分化形成气孔或各种附属物如茸毛等。叶肉为同化薄壁组织，位于上下表皮之间，包括栅栏组织和海绵组织。栅栏组织呈圆柱状，细胞排列紧密，垂直于表皮，含叶绿体，能行光合作用，制造养料。海绵组织不规则，排列疏松呈海绵状，有利气体交换，含少量叶绿体，位于栅栏组织下方，层次不清，是叶肉内的基本薄壁组织并具贮藏功能。叶脉是贯穿于叶肉的维管束，是植物输导水分和养料的通道。主脉粗大居中，与侧脉，小脉交织成网，称网状脉，多为背腹叶，下表皮的气孔较上表皮多，气孔的保卫细胞呈肾形，相对时呈圆形，是双子叶植物的特征。近表皮处常有厚壁或厚角组织分布在主脉的凸出部分，有支持和保护作用。单子叶植物叶与双子叶植物叶基本相同，只是表皮不仅角质化，且含有硅质，并常有乳状突起、刺或茸毛等。上表皮还有一种泡状细胞（运动细胞）具大型液泡，干旱时细胞因失水而收缩，使叶片卷缩成筒状，可减少水分蒸发。

上下表皮均具气孔，气孔由两个狭长哑铃状保卫细胞构成，每个保卫细胞外侧，各具一个略成三角形的副卫细胞，多呈直立状态。叶两面受光，因此称“两面叶”或“等面叶”，其特点是叶肉没有栅栏组织和海绵组织的分化，栅栏组织仅分布在下表皮上方或整个叶片上、下表皮内侧的四周。水生植物的叶，则完全没有栅栏组织。

叶脉的种类

1. 二杈分枝脉
2. 掌状网脉
3. 羽状网脉
4. 直出平行脉
5. 弧行脉
6. 射出平行脉
7. 横出平行脉

【变态叶】由于功能改变而引起的形态结构变化的叶。主要有以下几类：（1）刺状叶，叶片或托叶变成刺状，如仙人掌刺是针状叶，酸枣、刺槐的刺则是托叶。（2）柄状叶，即叶柄叶，如相思树的叶片完全退化，叶柄扩大成绿色的叶片状叶。（3）卷须叶，叶片或托叶变成卷须叶与卷须托叶，具攀援固定作用，如豌豆和菝葜。

(4) 鳞叶，又分为：1. 革质鳞叶，木本植物的冬芽，外具鳞片，有保护作用，如玉兰的鳞芽；2. 肉质鳞叶，鳞茎有肉质鳞片状的变态叶，能贮存营养，如百合、贝母；3. 膜质鳞叶，如麻黄叶和姜、大蒜的叶呈膜质鳞片状。(5) 苞叶，仅有叶片，生在花轴、花柄或花托下部的叶，具保护作用，其形状、大小、色泽因植物种类而各异，又分为 1. 苞片，即生在花柄或花序下部的小型变态叶，如柴胡。2. 小苞片，生在花序中每朵小花花柄上或花萼下的苞叶，如铃兰。3. 总苞片，生在花序外围或下面的苞片，如向日葵和半夏的佛焰苞。(6) 捕虫叶，食虫植物的叶特化成各种捕虫结构，如捕蝇草的掌状叶、茅膏菜的盘状叶、狸藻的囊状叶和猪笼草的瓶状叶等。捕虫结构遇昆虫有感应性，能自动收缩或关闭。变态叶表面均有分泌消化液的腺毛或腺体。

【花】被子植物特有的繁殖器官。也常指裸子植物的孢子叶球（即球花）。花含有性细胞，通过传粉、受精作用，产生果实和种子，使种族得以绵延。花由花芽发育而成。从演化上看，花由枝演变而来，即花是有限生长的、变态缩短了的枝叶。被子植物的花柄（梗）、花托相当于花茎；花被、雄蕊、雌蕊相当于花叶。除了种子植物外，其他植物是不开花的，故种子植物又称“有花植物”或“显花植物”。裸子植物如松柏之类的花较简单，无花被，形成有雌雄之分的球花。通常颜色鲜艳、有香气的花多是被子植物的花，尤其是虫媒花。风媒花和水媒花并不艳丽。一般的花由花柄、花托、花萼、花瓣、雄蕊群和雌蕊群组成。（见图）一朵典型的花，只要具备上述后 4 个部分，称“完全花”，如桃花。若缺少其中一部分或几部分，称“不完全花”，如南瓜花。通过花的中心，可分为数个对称面的称整齐花或辐射对称花，如茄；仅有一个对称面

的称不整齐花或两侧对称花，如益母草；无任何对称面的，称不对称花，如美人蕉。在花的组成中雌蕊和雄蕊是最重要的生殖器官，有时合称花蕊。花柄是花与茎的连接部分，有时有变态叶——苞片着生。果实形成时，花柄发育成为果柄。花托是花柄顶端稍膨大的部分，是花萼、花冠、雄蕊和雌蕊着生处。有的花托扩大成垫状或盘状体称花盘，有的花盘形成蜜腺体。花柄与花托支持着花的各部分，花萼是一朵花中所有萼片的总称。花冠是一朵花中所有花瓣的总称。花冠中具分泌组织，基部具蜜腺，花萼与花冠合称花被，有保护花蕊和引诱昆虫传粉的作用。雄蕊由花药与花丝组成，雌蕊由柱头、花柱和子房组成。花的形态和结构因植物的种类不同而异，但其特征较稳定，成为鉴定植物的主要依据。对研究植物分类、药材与木材的鉴别具有重要意义。

花

1. 花瓣 2. 柱头 3. 花柱 4. 子房
5. 胚珠 6. 花梗 7. 花药 8. 花丝
9. 萼片 10. 花托

花冠类型

1. 筒状 2. 漏斗状 3. 唇状 4. 高脚碟状 5. 钟状 6. 坛状 7. 辐状 8. 碟形 9. 舌状

【花冠】花瓣的总称。花瓣分离的花称离瓣花，花瓣互相连合的花称合瓣花。花瓣一轮排列的称单瓣花，花瓣数轮排列称重瓣花。有的花下部连合、上部分离称花冠筒，分离的部分称花冠裂片。花瓣联合的下方狭窄部分称花冠管部，上方扩大部分称花冠檐部，花冠管部与冠檐交会处称花冠喉。花冠的形状多样，常见的有下列几种。十字形：如油菜、萝卜等十字花科植物的花冠。蝶形：由旗瓣 2、翼瓣 2 和龙骨瓣 1 组成，如大豆、槐等豆科植物花冠。管状（筒状）：花冠管较长，呈筒状，如向日葵、红花、菊科植物的花冠。漏斗状（喇叭状）：形如喇叭如牵牛、莚菜、旋花科和部分茄科植物的花冠。高脚碟状：花冠筒长，上部水平扩大如碟，如长春花、水仙花、迎春花的花冠。钟状：形如钟状如沙参、党参

等桔梗科植物的花冠。辐（轮）状：形似车轮。如枸杞、龙葵等茄科植物的花冠。唇形：花冠稍呈二唇形，如益母草、丹参、薄荷等唇形科植物的花冠。舌状：如向日葵、蒲公英等菊科植物的舌状花的花冠（见上图）。此外，有距唇形花冠，如毛茛科的飞燕草。假面状花冠如金鱼草、三色堇等则比较少见。

【雄蕊】又称小蕊。被子植物花内产生花粉的雄性生殖器官。由花丝和花药两部分组成，着生在花冠以内、雌蕊以外的花托上。少数原始被子植物的雄蕊呈叶片状，如木兰属；在睡莲花中可见到雄蕊的花瓣化过程，说明雄蕊是叶的变态。雄蕊的数目和形态，因植物种类不同而异。原始种类为不定多数，高等种类常为定数而少。雄蕊有一轮的、二轮至多轮的；有的外轮对萼，有的外轮对瓣。有花丝联合成筒状的单体雄蕊，如棉属；有花丝 9 个联合、1 个分离的二体雄蕊，如豆类；有花丝联合成 3 束的三体雄蕊，如小连翘；也有花丝联合成 4 束以上的多体雄蕊，如金丝桃；还有花丝分离、而花药联合成筒状的聚药雄蕊，如菊科植物；还有 2 长 2 短的二强雄蕊，如薄荷；以及 4 长 2 短的四强雄蕊，如十字花科植物。花药着生在花丝顶端，由 2—4 个花粉囊组成，中间以药隔相联，花粉囊成熟后自行裂开，花粉粒散出。花药在花丝上着生方式各异，又分底着药、背着药、丁字药、个字药等 4 种类型。

【雌蕊】又称大蕊。被子植物花内产生卵细胞的雌性生殖器官。一般由柱头、花柱、子房 3 部分组成。也有缺花柱，柱头直接着生在子房上，如罂粟属。雌蕊着生在花托中央，为具有生殖作用的变态叶。构成雌蕊的单位称心皮，其数目与形状随种类不同而异。由 1 个心皮构成的雌蕊称单雌蕊，如桃；由两个以上心皮构成的

雌蕊称复雌蕊；其中心皮为 2 个的如桑；心皮为 3 个的如百合；心皮为 4 个的如卫矛；心皮为 5 个的如梨；心皮为 10 个的如柑橘类。在复雌蕊中，以各心皮联合成一个雌蕊的居多，称合生雌蕊，如蕃茄；各心皮分离，故雌蕊也分离的称离生雌蕊，如牡丹；在合生雌蕊中，有柱头、花柱、子房全联合的；也有仅与子房与花柱联合、柱头是分离的；还有仅是子房联合，花柱和柱头是分离的。柱头的形状也多种多样，有头状、盘状、星状、盾状、棒状、唇状、羽毛状等。雌蕊分枝的数目，常为心皮数目的倍数或完全相同。

【子房位置】子房在花托上着生的部位。分为子房上位（下位花）：花托扁平或隆起，仅子房底部与花托相连，花萼、花冠、雄蕊均着生在子房下方的花托上，如油菜、毛茛、百合。子房上位（周位花）：花托下陷，但并不与子房愈合，花的其他部分如花萼、花冠、雄蕊则位于花托上端内侧的周围，而且环绕着子房，如桃、杏等。子房下位（上位花）：子房着生于杯状花托（现多认为是花筒，即花被与雄蕊基部愈合而成，其本质并非花托。）中，并完全与花托愈合，花被、雄蕊等生于子房上方的花筒的边缘上，如苹果、梨、黄瓜。子房半下位（周位花）：子房下半部与下陷的花托愈合，而其他部分着生于花托上端内侧周围，如马齿苋、绣球花。

【胎座类型】胚珠在子房内着生的部位。由于心皮的数目与结合情况不同，胎座的类型也不同。（1）边缘胎座：单心皮雌蕊，子房一室，胚珠沿腹缝线边缘着生，如豆类。（2）侧膜胎座：一室复子房，胚珠沿相邻两心皮结合的腹缝线着生，如油菜、莴菜等。

(3) 中轴胎座：多室复子房，胚珠着生在心皮内卷的中轴上，子房室数常与心皮数相同，如柑桔类、百合等。(4) 特立中央胎座：一室复子房，胚珠多数着生在隔膜消失后留下的独立中轴周围，如马齿苋等。(5) 基生胎座：由 1—3 心皮组成，子房一室，胚珠一枚，着生于子房基部，如紫茉莉为一心皮、向日葵为二心皮、大黄为三心皮等。(6) 顶生胎座：由 1—3 心皮组成，子房一室，胚珠一枚着生于子房室的顶端部而下垂，如眼子菜为一心皮，桑为二心皮、樟为三心皮等。

【花序】花在花枝或花轴上排列的方式和开放的次序。少数古老的原始花，都是单生于茎枝顶端的最简单的单生花。现存的单生花大都在被子植物中比较原始的科，如木兰科的厚朴，毛茛科的芍药，以及睡莲科的荷花等，它们的花都单生于茎顶或枝端。大多数植物的花，均根据一定顺序排列在茎枝轴上形成花序。一个科的植物常具有相同的花序。如菊科为头状花序，伞形科为伞形或复伞形花序等。花序中着生花的部分称为花序轴或花轴，由顶芽发出的称为主轴，由主轴分出的为侧轴。花轴有长短、有无之分。有的花，花轴缩短膨大。支持整个花序的茎轴称为总花梗（总花柄）。无叶的总花梗称花葶（如水仙）。花序轴上无典型的营养叶，只有简单的小型变态叶，称为苞片，有的植物苞片密集成为总苞片（如菊科的向日葵）。有的总苞形成壳斗（如壳斗科植物）。花序分为无限花序和有限花序两种。前者指有花植物在开花期中，花轴的顶端继续向上生长、并不断地产生花，花开放的次序是花轴下部的花先开，依次由下而上或由四周向中央（由外向内）开放

的花序。后者也称聚伞花序，其花序轴上顶端先形成花芽，最早开花，并且不再继续生长，后由侧枝的枝顶陆续成长。这样的花序分枝不多，花的数目也少。

【果实】有花植物的雌蕊经过传粉、受精，由子房或花的其他部分（如花托、花萼等）参与发育而成的器官。果实由果皮、果肉和种子构成。一般单纯由受精后的子房发育成的果实称为真果，占果实的大多数，如多种肉质果和干果。果皮也称果壁，通常分为外、中、内3层，果皮的颜色、构造、发达程度，随植物种类而不同。外果皮一般较薄，表面常有角质层、蜡被、毛茸、刺、瘤突、翅等附属物。如桃子外果皮上的毛茸（桃毛），曼陀罗、刺茄外果皮上的刺，荔枝外果皮上有瘤突，槭、榆外果皮上有翅等。中果皮占果皮大部分，多由薄壁组织构成，含糖分、有机酸、鞣质等，如桃子有肥厚的果肉（中果皮），里面是坚硬的内果皮，核内的桃仁就是种子，外果皮与中果皮（白色瓢部）不易分开，易分开的是桔，桔皮是外果皮，桔络为中果皮，多汁毛囊是内果皮。有的果实，除了子房外，还有花托、花萼或花序轴等参与形成，称为假果（伪果）。如苹果、梨、草莓等由花托发育而成。无花果多数的小坚果被肉质的花序轴包埋。还有少数植物的雌蕊，不经过受精，直接发育成果实的，称为单性结实，它为无子果实，如无籽西瓜、无籽葡萄、香蕉、芭蕉等。依据参与果实形成部分的不同，常分为真果与假果。按照果实来源、结构和果皮性质的不同，又可分为不同的类型（见下表）。

【种子】裸子植物和被子植物特有的繁殖体。由种皮、胚、胚乳 3 部分组成。(1) 种皮：由胚珠的珠被发育而成，起保护种子的作用。通常有两层，外种皮由外珠被发育而成，较坚韧；内种皮由内珠被发育而成，一般较薄。有些植物的种皮是由珠柄或胎座延伸发育而成，肉质化，称为假种皮，如荔枝肉、龙眼肉、苦瓜种子外的红色假种皮等。有的假种皮呈干膜质状，如砂仁、豆蔻等的假种皮。在种皮上可见到，从种柄或胎座脱落后留下的疤痕，称为“种脐”，种柄与种皮愈合的部分常隆起，称为“种脊”，从种柄或种脊的最末端与种皮连合处，（种皮的维管束常常汇合于此）称为“合点”。种子形成后仍保留的小孔，称“种孔”。有的种皮上有海绵状突起，称“种阜”，种子萌发时可以帮助吸收水分，如蓖麻子、巴豆的种阜。(2) 胚：由胚珠发育而成，是种子中尚未发育的幼小植物体。包括胚根、胚茎、胚芽和子叶。(3) 胚乳：由极核受精后发育而成。通常位于胚的四周，呈白色，细胞中含丰富的营养物质，如淀粉、蛋白质、脂肪等，供种子萌发时需用。有胚乳的种子如玉米、稻、麦等；无胚乳的种子如大豆、杏、向日葵等。有些植物种子的营养物质包围在胚乳外部，称外胚乳，如胡椒、甜菜、石竹、槟榔等的外胚乳。

果实不同类型分类表

分 类			结 构	
单果： 一朵花中只有一个雌蕊的子房发育而成	肉果： 果皮柔软、肉质，成熟时不开裂	浆 果	由单心皮或多心皮雌蕊发育而成，果含浆汁。如：葡萄、柿。	
		瓠 果	由子房和花托一起发育而成。如葫芦科植物南瓜等的果实。	
		柑 果	由多个合生心皮，具中轴胎座的子房发育而成。如柑桔类。	
		核 果	由单心皮或合生心皮发育而成。内果皮木质化。如桃、杏等。	
		梨 果	假果由子房和花托愈合而成。如苹果、梨、山楂等。	
	干果： 果熟时果皮干燥，开裂或不开裂	裂果： 果熟时果皮开裂	荚 果	由单心皮长成。果熟时沿缝线两边开裂。如豆科植物。
			蓇葖果	由离生单心皮发育而成。沿一缝开裂。如八角、芍药。
			角 果	由两个心皮组成。有假隔膜，沿腹缝开裂。如芥菜。
		不 裂 果： 果熟时果皮不开裂	蒴 果	由两个以上心皮组成。果熟时瓣裂、孔裂、盖裂、齿裂等。
			瘦 果	果含一粒种子。成熟时果皮与种皮分离。如菊科向日葵的果实等。
			颖 果	由 2—3 心皮合成，只含一种子，果皮与种皮不易分离。如禾本科、玉米等果实。
			坚 果	由两个以上心皮组成，1 室、1 种子，如板栗等壳斗科果实。
			翅 果	由两个以上心皮合成，1 枚种子，果皮向外延伸成翅状，如榆、槭、杜仲等。
			双悬果	成熟时形成两个分离的小坚果，如小茴香、胡萝卜、当归等。
聚 合 果 (聚心皮果)			由子房上位，具多个离生雌蕊的单花受精形成的果实。如八角茴香。	
聚 花 果 (复合果、复果)			由花序受精形成的果实。如凤梨、无花果、还有蔷薇果(金樱子)。	

高等植物的种子，因植物种类不同，种子类型也有区别。一般根据胚乳有无和胚的子叶数目划分，可将种子分为各种类型。

(1) 有胚乳种子（见图）：其下又分为双子叶有胚乳种子，如蓖麻子；单子叶有胚乳种子，如砂仁。(2) 无胚乳种子（见图）：又可分双子叶无胚乳种子，如大豆、花生；单子叶无胚乳种子，如天麻。但也有依照子叶与胚根的卷曲程度、折叠方式来划分：(1) 种胚的胚根直生而不弯曲，子叶平展而不折叠的种子，如木蝴蝶。(2) 种胚的胚根直生而不弯曲，子叶只一侧折叠成卷旋状态的种子，如诃子。(3) 种胚的胚根直生而不弯曲，子叶两侧都同时折叠的种子，如苘麻。(4) 种胚的胚根直生而不弯曲，子叶皱缩，而有多次不规则折叠的种子，如裂叶牵牛。(5) 种胚的胚根弯曲生长，并与子叶的叶缘靠近（直迭）的种子，如补骨脂。(6) 种胚的胚根弯曲生长，并与子叶的背面靠近的种子，如麦兰菜。(7) 种胚的胚根弯曲生长，并与子叶背面紧接，而同时子叶又向胚根方向对叠的种子，如白芥。

有胚乳种子（蓖麻）

1. 种脐 2. 种脊 3. 合点 4. 种阜 5. 种皮
6. 子叶 7. 胚乳 8. 胚芽 9. 胚茎 10. 胚根

无胚乳种子（菜豆）

1. 种脐 2. 合点 3. 种脊
4. 种孔 5. 种皮

植物水分代谢

【水分代谢（植物）】植物对水分的吸收、运输、丢失的过程。最初的植物是起源于水中，后来才从水生逐渐进化为陆生。因此，水是植物的一个“先天”环境条件。植物的一切正常生命活动，都必须在水分相当饱和的情况下才能协调地进行，否则，正常生命活动就会受到影响，甚至停止。由于绿色植物是自养型的，要维持正常的生命活动，就必须高效率地进行光合作用。为此，它必须发展大量的叶面积，充分地接受阳光，并且与周围环境不断地进行气体交换（吸收二氧化碳和释放氧气）。但由于大气的水势比植物体的水势低得多，所以，这接受阳光的表面必然成了水分蒸发的表面，气体交换的通道也是水蒸汽散失的通道。因此，植物一方面通过根系不断地从环境中吸收水分，经根、茎的运输分配到植物体的各部分，以满足正常生命活动的需要；另一方面植物

体又不可避免地要丢失大量水分到环境中去，故植物体实际上是处于不断吸水和不断丢水的动态平衡之中。

【植物的含水量】生活的植物体所含水的量占植物体鲜重的百分率。可用下式计算：

$$\text{植物的含水量} = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100\%$$

式中鲜重是指新鲜植物材料的重量，干重是将新鲜植物材料先在 105℃ 下杀死，然后在 75—80℃ 下进行干燥，最后在 105℃ 下烘干至恒重。植物的含水量因物种、环境条件、生理状态的不同而异。例如水生植物的含水量可达 90% 以上，而有的沙漠植物的含水量可低到 6%，中生植物一般为 70—80%。植物生命活动旺盛的组织或器官，如根尖、茎尖、叶片等的含水量为 80—90% 以上，而成熟种子的含水量在 15% 以下，休眠芽常为 40%。

【自由水和束缚水】不被植物细胞内的胶体颗粒吸附的、能自由移动的水，称为“自由水”。它的数量直接影响着植物生理活动的强度。植物体内自由水多时，生理活动一般较强，生长速率也较快，但抗逆性下降。束缚水又称“结合水”。是比较牢固地被吸附在细胞胶体颗粒上的水。它不能作溶剂，不易自由移动，不易结冰（其冰点比自由水低）。植物体内束缚水和自由水的比例相对提高时，代谢活动降低，抗逆性增强。

【水势】等温等压下，体系（如细胞）中的水与纯水之间每偏摩尔体积的水的化学势差。用符号 ψ （音 Psi）或 ψ_w 表示。

$$\text{水势 } (\psi_w) = \frac{\text{体系中水的化学势} - \text{纯水的化学势}}{\text{水的偏摩尔体积}}$$

水势是由自由能、化学势引伸而来，是水分子能量的变量，以压力单位巴（bar）或帕〔斯卡〕（Pa）表示（1巴=10⁵帕）。可通俗理解为水的移动的趋势。水总是由高水势处自发移向低水势处，直到两处水势相等为止。任何一含水体系的水势，常受到能改变水自由能的诸因素（如溶质、压力、衬质等）的影响，使体系的水势有所增减。溶质、压力、衬质等因素独立地对体系水势的贡献，分别是溶质势（ ψ_s ）、压力势（ ψ_p ）和衬质势（ ψ_m ）。体系的水势就等于它们的代数和。即 $\psi_w = \psi_s + \psi_p + \psi_m + \dots$ 。具有液泡的成熟细胞，衬质势接近零，因此，其 $\psi_w = \psi_s + \psi_p$ 。未形成液泡的细胞，如风干种子，由于原生质近似干凝胶，所含溶质不呈溶液状态，因而没有溶质势，压力势为零，因此它的水势等于衬质势。幼嫩的分生细胞，原生质较丰富，且不断合成新的结构物质，它们的水势主要由衬质势来代表。细胞的水势，尤其是叶细胞的水势能较灵敏地反映植物体内的水分状况。当植物缺水时，细胞的水势很快下降。因此，叶细胞的水势可作为合理灌溉的生理指标。

【溶质势】 溶液中由于溶质存在所引起的那部分纯水水势的降低值。纯水的水势人为地规定：在标准大气压、与体系同温度时为零。这里说的纯水是指不以任何方式（物理或化学）与其他物质结合的纯自由水，它的自由能最高，所以纯水的水势最高。当纯水中溶有任何物质时，由于溶质（分子或离子）与水分子相互作用，消耗了水分子的自由能，因而任何溶液的水势低于纯水的水势。由于水中溶质存在而降低的水势就是溶液的溶质势，它的数值为负值。用符号 ψ_s 表示。溶质势可表示溶液中水分潜在的渗透能力的大小，因此它又称为“渗透势”。用符号 ψ_π 表示。溶液的渗透势可以用气体公式来计算：

$$\psi_{\pi} = -CRT$$

C 为溶液的重量摩尔浓度。溶液较稀时,重量摩尔浓度与摩尔浓度差别很小,故实际上可用摩尔浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。R 为气体常数。若 ψ_{π} 以巴为单位, $R = 0.083 \text{ 升} \cdot \text{巴} \cdot \text{摩尔}^{-1} \cdot \text{开}^{-1}$ ($0.083 \text{ L} \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); 以帕为单位, 则 $R = 8.314 \text{ 升} \cdot \text{千帕} \cdot \text{摩尔}^{-1} \cdot \text{开}^{-1}$ ($8.314 \text{ L} \cdot \text{KPa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)。T 为绝对温度 (开氏温度)。上述公式仅适用于非电解质溶液, 对于电解质溶液, 渗透势不是与溶质的分子数目有关, 而是与电离后所产生的颗粒的数目有关。即渗透势或溶质势的大小, 取决于溶液中溶质的质点 (分子或离子) 的总数, 溶质质点数越多, 渗透势 (溶质势) 越低 (负的绝对值越大)。电解质溶液的渗透势为:

$$\psi_{\pi} = -iCRT$$

i 为渗透系数 $= 1 + \alpha(n-1)$ 。(n 为 1 个分子电离后生成的离子数, α 为电离度)。渗透势的数值相当于用渗透计测出的渗透压, 但符号相反 (即在其数值前加一负号)。植物细胞液泡中的细胞液含有多种溶质, 故具有一定渗透势。植物细胞的渗透势数值因内外条件不同而异。温带生长的大多数作物叶细胞的渗透势是 -10 至 -20 巴, 旱生植物可低到 -100 巴。渗透势的日变化和季节变化很大, 凡是影响溶质浓度的条件, 都能使其渗透势改变。

【压力势】溶液体系中由压力所决定的那部分水势。用 ψ_p 表示。由于一般体系处于一个大气压下, 因此人为规定, 在一个大气压下, 压力势为零。通常说的压力势数值是扣除了一个大气压的数值。植物细胞具有细胞壁, 细胞吸水膨胀时, 原生质体对细胞壁产生压力, 即膨压。由于细胞壁有一定弹性, 在受到膨胀的同时, 产生了对原生质体的反压力, 称为壁压 (大小与膨压相等而方向相

反), 它提高了细胞液的水势。因此, 细胞压力势通常为正值。草本植物叶细胞的压力势在夏季午后约为 3—5 巴, 晚上可达 15 巴。在细胞发生质壁分离时, 压力势为零。导管中的水柱因强烈蒸腾而处于张力下时, 压力势可成为负值。

【衬质势】由胶体物质的亲水性及毛细管表面对自由水的束缚作用引起的水势降低值。由于纯水的水势为零, 所以衬质势为负值。用符号 ψ_m 表示。构成细胞壁的纤维素、果胶质和组成原生质的蛋白质等都是亲水胶体, 表面能吸附很多水分。细胞的衬质势就是这些物质对水分子的吸附力造成的水势下降的数值。无液泡的细胞, 如风干种子, 因和干燥空气接触而失水, 衬质势很低, 约为 -1000 巴。将它放在水中可强烈吸水, 随吸附水分增多, 衬质势升高 (其绝对值减少), 当被水饱和时, 衬质势等于零。已具有中央液泡的细胞, 衬质势约为 -0.1 巴 (接近于零), 对总水势的影响可以忽略不计。

【膨压】又称紧张压。用符号 T 表示。植物细胞因吸水体积膨胀而产生的原生质体对细胞壁的压力。一个成熟细胞当它发生初始质壁分离时, 由于原生质体和细胞壁分开, 它对细胞壁不产生压力, 这时膨压为零, 细胞呈不紧张状态。如果把这样的细胞放在水中, 由于水分顺着水势差进入细胞, 液泡中的水分增多, 体积增大, 并通过原生质对细胞壁产生压力, 即膨压。随着细胞内水分增加, 细胞体积不断增大, 膨压也不断增大, 当细胞吸水达到饱和时, 膨压达到最大值, 这时细胞呈最紧张状态。所以, 膨压是细胞产生紧张度的原因。膨压的数值反映细胞紧张度的大小。膨压的生理意义是: (1) 维持细胞的紧张度, 使植物体茎、叶等挺立, 保持

固有姿态，便于充分接受阳光。同时，使花朵张开，利于传粉。
(2) 调节气孔的开闭。保卫细胞吸水膨压增加时，气孔张开；保卫细胞失水膨压下降时，气孔关闭。(3) 和细胞生长密切相关。轻微的水分亏缺，没有减弱生长所需的代谢过程，只是缺乏足够的膨压，就可影响细胞的增大。

【渗透压】溶液和纯水被半透膜相隔达平衡时，溶液一方所承受的外压差。如图在“U”形管中用一半透膜（只让溶剂分子透过而不让溶质分子透过的薄膜，如膀胱、火棉胶、羊皮纸等）将溶液与纯水隔开。开始时，使两侧水面高度相同，纯水一侧水受的外压 P_1 和溶液一侧水受的外压 P_2 也相等。由于纯水的水势高于溶液的水势，水由纯水通过半透膜移向溶液，溶液一侧水面升高。加大 P_2 会影响水分渗入溶液。调节 P_2 恰好使溶液和纯水处于平衡，没有净水通过半透膜，溶液保持原有体积和浓度，这时的压力差 ($P_2 - P_1$) 即为该溶液的渗透压。在一定温度下，渗透压的大小与溶液浓度成正比。

渗透压示意图

1. 溶液 2. 半透膜 3. 水

【细胞的吸水力】植物细胞吸水的潜在能力。用符号 S 表示。其大小决定于细胞的渗透压 (P) 和膨压 (T)。其关系为 $S = P - T$ 。吸水力是在纯水中吸水的潜在能力, 只有在纯水中这潜在能力才能完全发挥。如细胞处于溶液中时, 这时实际的吸水力为 $S = P - T - P_0$, P_0 为外界溶液的渗透压。处在外界溶液中的细胞能否吸水或所吸收的水量, 取决于细胞与外界溶液之间的吸水力的差值。外界溶液是开放的, 其吸水力与渗透压的值相等。只有当 $S > P_0$ 时, 细胞才能吸水, $S - P_0$ 差值越大, 吸水量越多。同样, 两个相邻细胞之间水分移动方向, 也决定于两个细胞之间的吸水力的差值, 即吸水力低的细胞中的水向吸水力高的细胞移动。吸水力不是静止不变的, 它随着 P 与 T 的变化而变化。例如一个发生初始质壁分离的细胞, 其 $T = 0$, 这时 S 最大, 其值和 P 相等。将这样的细胞放在水中, 由于 $S > P_0$, 细胞吸水, 细胞体积增大, 膨压产生并且逐渐增大, 而渗透压因细胞液被稀释而下降, 因此吸水力也逐渐下降。当细胞达到充分膨胀状态 (最大紧张度) 时, $T = P$, 这时 $S = 0$ 。吸水力这术语是 60 年代中期以前, 植物生理学中讨论细胞水分状况时采用的, 现已为水势新概念所取代。水势相当于吸水力的负值。

【质壁分离】植物细胞由于液泡失水而使原生质体收缩和细胞壁分离的现象。细胞处于高渗溶液中时发生。例如, 将具有液泡的细胞置于对细胞无毒害的 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖溶液中, 由于细胞液的水势高于外面溶液的水势, 液泡中的水分外渗, 液泡体积缩小。开始原生质体和细胞壁也随之收缩, 整个细胞体积缩小。但由于细胞壁的伸缩性是有限的, 而原生质体的伸缩性较大。因此, 在细胞壁停止收缩时, 原生质体还继续收缩, 这样原生质体和细胞壁

便开始慢慢分开。起初只在细胞的角上稍有分离（这时称为“初始质壁分离”），后来分离的部位越来越大，最后原生质体收缩成团，和细胞壁完全分开。如果质壁分离的时间不长、不严重，细胞一般不会受到损伤，把这样的细胞放在纯水或低渗溶液中，水分顺着水势差从外面进入细胞，液泡体积随之增大，原生质体也慢慢恢复到和细胞壁紧靠在一起的原先状态，这种现象称为“质壁分离复原”。质壁分离时，膨压为零，细胞呈不紧张状态。质壁分离现象是植物活细胞所具有的特性，因此可用以判断细胞的死活，也可用来测定细胞液的渗透势以及原生质的透性、弹性和粘滞性等。

【渗透吸水】植物细胞吸水的一种方式。具有液泡的细胞主要靠渗透作用吸水。渗透作用是溶剂分子通过半透膜的扩散作用（见图）。图中在长颈漏斗口上紧扎着一块半透膜，漏斗内装有蔗糖溶液，将漏斗倒置于盛有纯水的烧杯中，开始时使漏斗内、外液面相等。由于纯水的水势高，蔗糖液的水势低，所以，烧杯中的水就会通过半透膜向漏斗内移动，漏斗内液面上升，溶液上升到一定高度后就不再上升，这种现象就是渗透作用。因此，渗透作用是水分从水势高的系统通过半透膜向水势低的系统移动的现象。渗透作用的发生需要有两个条件：一是半透膜，一是半透膜两边有水势差。成熟的细胞含有大液泡，液泡里面的细胞液含有许多溶解于水中的物质，具有水势。液泡外面是原生质层，在讨论细胞吸水时，常把它当作一半透膜。这样一个细胞放在水或溶液中时，如果原生质层两边有水势差，就具备了进行渗透作用的条件。当外界溶液的水势高于细胞液的水势时，细胞就通过渗透作用吸水。一般情况下，土壤溶液的水势是比较高的，因此，根系可以

从土壤中吸水。当外界溶液的水势低于细胞液的水势时（如一次施用过量的化肥），细胞不仅不能从外界吸水，反会使细胞中的水分外流，从而造成对植物不利的影响。由于一株植物的全身细胞大都是成熟细胞，所以，植物吸水，以渗透吸水为主。

渗透现象示意图

（1. 蔗糖溶液 2. 水）

a. 实验开始 b. 经过一段时间

【吸胀吸水】植物细胞吸水的一种方式。未形成液泡的细胞靠吸胀作用吸水。例如风干种子的吸水就是靠吸胀作用。分生组织细胞主要也靠吸胀作用吸水。吸胀作用是亲水胶体吸水并使其膨胀的现象。在未形成液泡的细胞中，细胞物质主要是构成细胞壁的纤维素和果胶质、组成原生质的蛋白质以及贮藏的大分子化合物（如淀粉等）。这些物质都是亲水胶体，在它们的表面能吸附很多水分子，使胶体体积膨胀。例如干燥的种子浸在水中，经过一定时间后，细胞壁、原生质和贮藏的淀粉等就会吸水膨胀，使种子体积增大。吸胀吸水的能力大小与以下因素有关：（1）胶体物质

的亲水性。蛋白质、淀粉和纤维素三者的亲水性依次递减，因此，富含蛋白质的豆类种子吸胀时，体积增大明显超过以淀粉为主要成分的谷类种子。(2) 温度。在一定范围内随温度的增加而增加。(3) 外界溶液的浓度。浓度越高，吸胀吸水的能力越小。故土壤溶液浓度过高时(如盐土或过量集中施用化肥)，会妨碍种子吸水。

【原生质层】植物细胞的质膜、液泡膜和介于这两层膜之间的中质合称原生质层。质膜和液泡膜是选择透性膜，它们可以让水自由透过，但许多其他物质则不能或不易透过。中质也不是所有物质都可以自由透过的。因此，整个原生质层具有选择透性。由于在一般情况下，原生质层让水分子透过的速率比溶质分子要快得多。因此，在讨论细胞渗透吸水时，为了简化起见，往往把原生质层当作一个半透膜来看待。这样，一个具有液泡的成熟细胞，液泡里的细胞液含有许多溶于水的物质，具有一定渗透势，如果细胞和外界溶液之间有水势差，就可通过原生质层与外界溶液发生渗透作用。实际上，原生质层并不是理想半透膜(理想半透膜是只允许水通过而不允许任何溶质通过的膜)，它对溶质不是绝对不透，而是对不同物质有不同的透性，也即说它是选择透性膜。如果质膜、液泡膜是理想半透膜，植物就不能与外界进行物质交换，生命活动就不能进行。另外液泡中的一些可溶性物质也不能进入，也就不可能发生渗透作用。

【共质体和质外体】通过胞间连丝使一株植物中所有细胞的细胞质联系起来形成一个连续体，称共质体。共质体包括所有细胞中的活的部分。它是植物行使生理功能的系统，也是溶质在细胞间运输的一条通道。进入共质体的溶质，通过胞间连丝，从一个细胞

传递到另一个细胞，一般不需要经过质膜。胞间连丝截面小，运输阻力大，不适于大量物质的长距离运输。但共质体中特化的韧皮部，承担有机物质的长距离运输。和共质体相对而言的是质外体，又称非原质体。是指原生质以外无生命的部分。包括细胞壁、细胞间隙以及木质部分导管等几部分连接成的一个整体。它是溶质在细胞间运输的另一通道。水和溶质在质外体可以自由扩散。质外体对水分和其中无机养料通过的阻力比共质体小，所以水分和无机养料以这种方式进行长距离运输。

【主动吸水】仅由根系生理活动而引起的植物吸水的现象。伤流和吐水是主动吸水的表现。主动吸水的机理，一般将根分为共质体和质外体两部分来解释。根内的共质体是连续的，而质外体是不连续的，这是因为内皮层细胞的径向壁和横壁上有凯氏带。凯氏带由渗入到细胞中的不透水和溶质的木栓质等物质构成，并且包围在中柱外。因此，根的质外体被分隔成两部分：一部分在内皮层以外，另一部分在内皮层以内。外界的水和溶质不能通过质外体直接进入根的中柱，而必须通过质膜进入共质体，由共质体再传到导管。内皮层成了根的皮肤和中柱之间的渗透屏障，因此，可将整个内皮层看作一个半透膜。只要内皮层两边溶液的水势不同时，就可发生渗透作用。当根系处于土壤溶液中时，水和溶质在内皮层以外的质外体可以自由扩散。进入质外体的溶质可被表皮或皮层细胞主动吸收而进入共质体，并可在共质体内运输一直到中柱薄壁细胞。进入中柱薄壁细胞内的溶质又可释放到内皮层以内的质外体（主要是导管）。由于受到内皮层凯氏带的阻碍，它们不会向内皮层以外扩散，这就造成了内皮层以外的质外体中的溶质浓度下降，而内皮层以内的质外体中溶质浓度上升。其结果使

内皮层以外质外体的水势高于内皮层以内中柱导管的水势，于是水分可以从内皮层以外的质外体通过内皮层渗透到中柱导管。由此可见，这种吸水方式的基础是导管液的水势必须低于外界溶液的水势，而维持这水势差是靠根系不断从外界主动吸收无机盐（溶质），并将它们释放到导管中。已知无机盐的主动吸收需要消耗呼吸作用提供的能量，与根系的生理活动密切相关，因此，称为主动吸水。主动吸水仅在蒸腾作用极微弱的情况下（如春季树芽未展开时或蒸腾作用被抑制时），才是植物吸水的主要方式。

【伤流】将植物的茎在近地面处切去，不久可见到有汁液从切伤的输导组织流出，这种现象称为伤流。如在这切口处套上橡皮管并和压力计相连，就会表现出一定的压力，这种压力称为根压，是由于根系生理活动使伤流从根部上升的压力。因此，伤流是由根压引起的。低温、缺氧或呼吸抑制剂抑制根系活动时，伤流随之减弱，甚至停止。不同植物、不同季节、根系吸收面积大小以及生理活动强弱等都直接影响伤流。发生伤流时流出的汁液称为伤流液，它不是切伤后流出的组织液，而是导管液。其中除水分外，还有根系从土壤中吸收的无机盐、根中合成的有机物和植物激素等。伤流液的数量和成分可作为根系生理活动的一项指标。

【吐水】从植物未受伤叶片的尖端或边缘等处向外溢出液滴现象。在空气湿度高、蒸腾作用弱、土壤水分充足、通气良好、土温适合条件下，清晨在田间或温室中常可看到吐水现象。吐水是由于根系生理活动吸水，使水沿导管上升的结果。因为空气湿度高，蒸腾弱，体内多余的水以液态形式从叶脉尖端的水孔流出体外。因此，吐水可作为根系生理活动强度的指标。移栽的稻秧出现吐水，

表明缓苗期已结束。

【被动吸水】由地上部（枝叶）的蒸腾作用而引起的植物吸水现象。当叶子进行蒸腾时，气孔腔周围的叶肉细胞失水，水势下降，与邻近细胞之间产生了水势差，因此向邻近细胞吸水。同理，这些邻近细胞又向另一些细胞吸水，这样依次传递下去便向叶脉导管牵引水分。由于根、茎、叶的导管是连续的，因此，导管内的液流可看成是一连续的水柱，其结果是把茎、根导管中的水柱拖曳上升。根导管末端的水柱又牵引根部细胞的水分，引起根部细胞因失水而水势下降，从而促进根部细胞从土壤中吸水。由于正在进行蒸腾作用的枝叶可以通过被麻醉的或死亡的根吸水，甚至没有根的枝叶也可以吸水，在这里根似乎只作为水分进入植物体的被动吸收表面。因此，这种吸水方式称为被动吸水。被动吸水的速率受蒸腾速率所控制，当水分供应适当时，吸水速率和蒸腾速率是一致的。通常蒸腾着的植株的吸水，主要是由被动吸水引起。

【蒸腾作用】水分从活的植物体表面（主要是叶子）以水蒸汽状态散失到大气中的过程。与物理的蒸发过程不同，蒸腾作用不仅受外界环境条件的影响，而且还受植物本身的调节和控制，所以它是一种复杂的生理过程。植物幼小时，暴露在空气中的全部表面几乎都具有蒸腾作用。成长植物的蒸腾部位主要在叶片。叶片蒸腾作用有两种方式：（1）通过角质膜的蒸腾，称为角质蒸腾。幼嫩叶片或在潮湿遮阴条件下成长的叶片，其角质膜不发达，角质蒸腾散失的水量可达总蒸腾量的 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{2}$ ；而成长的叶片则仅占 5—10%。（2）通过气孔的蒸腾，称为气孔蒸腾。它是植物蒸腾作用的主要方式。叶片上气孔的总面积，一般只占叶面积的 1% 左

右，但通过气孔蒸腾的水量却相当于叶同面积的自由水面蒸发量的 50%，甚至更高。这是因为气体通过气孔（小孔）扩散的速率不是和小孔面积成正比，而是和小孔周长成正比。通过气孔扩散的这种高速效应，对二氧化碳进入叶子，保证高效率地进行光合作用十分有利，但由于大气的水势比植物体的水势低得多，因此就不可避免地要丢失大量水分。植物蒸腾丢失的水量是相当惊人的。据估计，1 株玉米从出苗到收获需要消耗水 200—250 公斤，1 亩稻田生长期需消耗水 30 万公斤。在植物所消耗的水中，只有 0.15—0.2% 用于组成植物体，99.8% 或以上均由于蒸腾作用而散失。在长期的进化过程中，植物产生了气孔器。通过气孔器开闭调节，使植物既有较高的扩散速率保证气体交换，又能在夜间不进行光合作用时，或缺水等不利条件下，将气孔关闭，使蒸腾作用减弱，甚至停止。因此，蒸腾作用主要通过气孔进行，是植物对环境的一种巧妙适应。蒸腾作用具有以下作用：（1）是植物吸收和运输水分的主要动力；（2）可降低植物体的温度，使叶子在强光下进行光合作用而不致受害；（3）蒸腾作用所引起的上升液流能使无机盐在其中上运。适当地抑制蒸腾作用，不仅可减少水分消耗，而且对植物生长也有利。在高湿条件下，植物生长比较茂盛。蔬菜等作物生产中，采用喷灌提高空气湿度，减少蒸腾，一般可比土壤灌溉增产。

【蒸腾速率】又称蒸腾强度。植物在一定时间内，单位叶面积上蒸腾的水量。一般用每小时每平方米蒸腾水量的克数表示（即克·米⁻²·小时⁻¹）。大多数植物的蒸腾速率白天为 15 克—250 克·米⁻²·小时⁻¹，夜间为 1 克—20 克·米⁻²·小时⁻¹。如果测定叶面积有困难，也可以叶的重量（干重或鲜重）表示。叶内外蒸汽压

差大时，蒸腾速率快，反之就慢。光照、温度、空气相对湿度等影响叶内外蒸汽压差。气孔频度（叶片每平方厘米的气孔数目）、气孔大小和开度影响气孔阻力。气孔频度大、气孔大、开度大，阻力就小，蒸腾较强。扩散层的阻力与扩散层的厚薄有关。扩散层厚，阻力大，蒸腾就弱。

【蒸腾效率】又称蒸腾比率。植物每消耗 1 公斤水所形成干物质的克数；或植物在一定的生长期所积累的干物质质量和所消耗水分量的比率。一般植物的蒸腾效率是 1—8 克（如用比率表示，则为 1—8‰）大部分作物为 3 克左右。 C_4 植物的蒸腾效率一般比 C_3 植物的高出 1 倍以上。蒸腾效率可作为植物对水分利用情况的指标，其数值愈大，表示制造的干物质愈多，对水分的利用愈经济。

【蒸腾系数】又称需水量。植物制造 1 克干物质所需要水分的克数。是蒸腾效率的倒数。一般植物的蒸腾系数为 125—1000 克。作物的蒸腾系数范围在 100—500 克。蒸腾系数大，表示植物利用水分的效率低。 C_4 植物（玉米、高粱等）的蒸腾系数比 C_3 植物（小麦、棉花）小，因此，利用水分的效率高，在干旱时，受影响也要小些。蒸腾系数的数值可以作为灌溉时的参考数据。

【气孔运动】气孔的开闭现象。由于气孔是植物体与外界发生气体交换的主要“门户”，通过气孔扩散的气体有二氧化碳、氧气和水蒸汽，因此，气孔运动影响着光合、呼吸、蒸腾等生理过程。气孔运动是通过保卫细胞来调节的。双子叶植物的气孔由两个半月形的保卫细胞组成，保卫细胞的内外壁厚度不同，靠着气孔一侧的内壁厚，背着气孔一侧的外壁薄。当保卫细胞吸水膨胀时，厚

壁不易伸展，而薄壁伸展性大，因此，一对保卫细胞都向外弯曲，气孔就张开。当保卫细胞失水，细胞体积缩小时，气孔即关闭。所以，气孔运动与保卫细胞的膨压变化有关。许多环境因素影响气孔的开闭。对大多数植物来说，光诱导气孔张开，二氧化碳浓度下降也促进气孔张开。水分供应不足，使气孔关闭。温度过高（ 30°C — 35°C 以上）或过低（近 0°C ）气孔也关闭。

【气孔扩散的小孔法则】气体（如水蒸汽）通过小孔扩散的速率不与小孔面积成正比，而与小孔周长成正比。因为通过孔扩散出去的气体分子除经表面向外扩散外，还沿边缘向四周扩散，因此在扩散表面形成一个近似半球形的扩散层。扩散层的边缘部分比中央部分较薄，所以，通过边缘扩散出去的分子相互碰撞的机会少，扩散速率比中央的快，这种现象称为“边缘效应”。当扩散表面的面积大（大孔）时，边缘和面积的比例较小，扩散分子主要从表面上出去，边缘效应不明显，扩散速率和面积成正比。当扩散表面的面积变小（小孔）时，边缘与面积的比例就变大。例如把一大孔分散成许多小孔，虽总面积不变，但边缘长度（周长）增加很多，边缘效应明显地表现出来，这时扩散速率不是与面积成正比而是与周长成正比。由于气孔是很小的孔，正符合小孔扩散法则。所以水蒸汽通过气孔的蒸腾速率要比同面积的自由水面的蒸发速率快得多。

【水分运输途径】水分在植物体内运输的途径。一般是自土壤进入根毛或根表皮细胞→根皮层→内皮层→中柱鞘→根导管、管胞→茎的导管、管胞→叶的导管、管胞→叶维管束鞘→叶肉细胞→气孔下腔，最后由气孔或角质膜蒸腾到大气。此运输途径可分为两

部分。一部分是二端（根和叶）的活细胞，水在活细胞间的运输可通过共质体途径，也可通过质外体途径。由于根内皮层细胞壁上有凯氏带，当水分运至内皮层时，质外体途径被阻，只能通过内皮层细胞的原生质进入中柱。水分在活细胞间运输阻力很大。另一部分是维管束中的导管和管胞，它们是中空无原生质的长形死细胞，横壁或消失或具有孔道，因此水分在其中运输，阻力小，适于长距离的运输。植物体内水分运输除了自下而上外，还有侧向运输，是通过维管射线作放射的运转；也有通过导管的壁孔作切线的运转。这些运转的速度一般都比向上运转慢得多。

【内聚力学说】关于植物体内水分上升原因的一种学说。最早由爱尔兰植物生理学家迪克逊提出。此学说认为植物体内水分上升的动力主要是蒸腾拉力。即由于蒸腾，气孔腔周围的叶肉细胞失水，水势下降，向邻近细胞吸水，使这些邻近细胞水势下降，又向其相邻细胞吸水。这样依次传递下去直到向叶脉导管牵引水分。由于叶、茎、根的导管是连续的，同时水有很大的内聚力（可达 200—300 巴），因此导管内的水可成为连续水柱。水柱的上端与叶肉细胞相连，下端与根的活细胞连接。当叶肉细胞因蒸腾失水向导管吸水时，水柱就受到一种向上的牵引力，与此同时，水柱本身又受到重力牵引，这样水柱受到上拉下坠，使它产生了张力。木质部水柱的张力约为—5—30 巴，远小于水分子的内聚力，因此不会因张力而使水柱断裂。水柱的连续性保证了水分能不断上升。此学说为大多数植物生理学者所接受。有人在导管中观察到气泡存在而反对此学说（因为气泡可能会使水柱断裂）。但木质部内存在很多导管，个别导管内水柱暂时中断关系不大。在木质部切割，使导管进入空气，水柱中断情况下，植物体内水流还可通过细胞壁

的微孔及细胞间隙的小水柱上升。

【水分平衡】植物吸收的水量与蒸腾丢失的水量处于平衡状态。水生植物一般不会发生水分收支不平衡的情况，而陆生植物则常因土壤缺水或大气干旱蒸腾过剧等原因，使植物的水分收支失去平衡。植物只有在保持水分平衡的情况下，才能进行正常的生长发育。水分平衡破坏时，会影响正常的生理活动，可引起生长停顿，光合受阻，代谢失调，萎蔫，叶、花、果实的脱落，以至死亡。农业生产上用灌溉来保证作物的水分供应；移栽植物时，常剪去部分枝叶以减少蒸腾，目的在保持水分平衡。

【水分亏缺】由于土壤缺水、蒸腾过强、土温过低、土壤淹水通气不良、土壤含盐量过多等原因，植物吸水不能满足蒸腾消耗，引起植物组织缺水已达到正常生理活动受到干扰的程度。通常以水势和相对含水量来衡量植物水分亏缺的程度。由于水分几乎参与植物体内所有重要的代谢过程，因而水分亏缺对许多重要生理过程（如生长、气孔开关、光合作用、呼吸作用、运输、物质转化、激素以及酶活力等）都有影响。不同的生理过程对水分亏缺敏感性不相同，生长过程最敏感，轻微的水分亏缺就会使它很快因膨压减低而受到抑制。有人认为膨压的减低在水分亏缺的影响中，具有最原初和基本的性质。

【生理干旱】土壤中并不缺水，而是因根系的正常生理活动受阻，使吸水速率减慢甚至停止，破坏了植物体内水分平衡而表现出的干旱现象。导致生理干旱的原因主要有：（1）土壤淹水造成氧气供应不足，使根系正常呼吸作用受阻，吸水速率下降，同时因缺

氧进行无氧呼吸，产生有害的中间产物——酒精，使根系中毒受害，吸水就更少了。(2) 土壤温度过低，呼吸作用大幅度下降，根系的延长生长受阻（缩小了吸水的有效面积），使根系吸水能力下降，加上低温下水和原生质的粘滞性增加，水分移动速度减慢，更不利于根系吸水。(3) 土壤溶液中含盐分过多，其水势较低，使根系吸水困难或完全不能吸水。

【萎蔫】植物细胞失水过多而失去紧张状态，茎、叶等的幼嫩部分呈现出下垂、皱缩或卷曲的现象。萎蔫可分为暂时萎蔫和永久萎蔫两种。萎蔫的植物若在降低蒸腾后（例如放在阴凉处），可减轻或消除水分亏缺而恢复正常紧张状态的称为暂时萎蔫；降低蒸腾后依然保持萎蔫状态的称为永久萎蔫。暂时萎蔫时，土壤中并不是没有可利用的水，而是蒸腾失水超过了根系吸水，因此只要降低蒸腾就能恢复原状。发生永久萎蔫时，土壤中缺乏可利用的水，只有进行灌溉才能恢复。植物发生萎蔫时，气孔关闭，蒸腾量大幅度下降；叶片下垂、卷缩减少了受光和蒸腾表面，蒸腾量进一步减少。这有利于维持体内的水分平衡，但生长、光合作用受到抑制。持续的萎蔫会严重影响植物的生命活动和产量，甚至会导致植物死亡。

【水分临界期】植物对水分亏缺最敏感的生长发育时期。这时期缺水最影响产量。作物一生中常有一个或一个以上的水分临界期。例如小麦孕穗期是第一临界期，这时正是从四分体到花粉粒形成时期，这时期缺水，显著降低结实率。第二临界期是从开始灌浆到乳熟末期，这时期营养物质正从母体各处运到籽粒，如果缺水，会直接影响到有机物的运输，造成灌浆困难；同时因水分不足，使

叶片早衰，降低光合能力，有机物的合成减少，因而使籽粒瘦小，产量降低。许多作物的水分临界期大都和生殖生长有关。各种作物的水分临界期，可作为合理灌溉的一种依据。

植物矿质营养

【植物矿质营养】植物从外界吸收、转运和同化其生长发育所必需的矿质元素的过程。植物正常的生命活动除了需要水和二氧化碳中的碳、氢、氧 3 种元素外，还需要氮、磷、钾、硫、钙、镁、铁、锰、硼、锌、钼、氯、铜等矿质元素。高等植物吸收矿质元素和吸水一样，主要也是通过根系从土壤中吸收的。由于植物一般只能吸收溶解在水中的矿质元素，同时被吸收的矿质元素是随蒸腾流带到地上部，因此，矿质的吸收和水分的吸收是有联系的。但由于根部吸水主要是因蒸腾而引起的被动过程，吸收矿质则以消耗代谢能量的主动吸收为主，故两者又表现相对独立性。绿色植物不仅能将二氧化碳同化成为有机物，也能把从外界吸收的一些矿质元素，经体内代谢转变成有机物。矿质元素广泛参与植物代谢的各个环节，有的形成植物结构物质，有的参与酶促反应或能量代谢，有的起着维持细胞渗透势或膜系统完整性的作用。当植物缺乏某种必需矿质元素时，植物就会因失去正常结构或干扰、破坏正常的代谢过程而显出特有的缺素症。不同作物对矿质元素所要求的绝对量和相对比例不一样。例如叶菜类蔬菜需要较多的氮；块茎、块根作物要求较多的磷、钾；谷类作物对各种元素的需要比较均匀。矿质营养的研究成果，可为作物的合理施肥提供理论

基础。

【植物的必需元素】植物正常生长发育所必需的化学元素。衡量必需元素的标准是：(1) 缺乏该元素，植物不能完成生活史；(2) 该元素的功能不能被其它元素所替代，缺乏时表现出其特有的病症；(3) 该元素必须直接参与植物的营养作用，而不是改变其介质条件而产生的间接效果。目前公认的植物必需元素有碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、铜、锰、锌、硼、钼、氯 16 种。前 9 种常占植物体干重的 0.1% 以上，称为大量元素；后 7 种含量甚微，仅占植物体干重的万分之几到百万分之几，称为微量元素。在 16 种必需元素中除了碳、氢、氧来自二氧化碳、氧气和水外，其他 13 种是主要来自土壤中无机盐的矿质元素。有人认为钠也是必需元素。另外，钴是蓝藻和共生的固氮菌必需的；硅是水稻、硅藻必需的等。随着超微量分析技术和去污技术的发展，可能还会发现一些元素是植物所必需的。必需元素在植物体内的生理作用可概括为两类：一类是细胞结构的组成成分；另一类是植物生命活动的调节者，例如或是酶的活化剂，或维持细胞的渗透势，或影响膜的透性等。一般非金属元素的作用属于第一类，金属元素的作用属于第二类。这种区分是相对的，例如，镁既是叶绿素的构成元素，又是许多酶的活化剂。

【矿质元素】一般指主要由根系从土壤的无机盐中吸收的氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、铜、锰、锌、硼、钼、氯等元素。在自然条件下，土壤中的无机盐是由矿物质风化而来的，所以在植物生理学中传统地把这些元素称为矿质元素。氮虽不存在于天然矿质中，但植物体内的氮元素主要也是从土壤中以无机盐的形式吸收，

因此，通常也把它放在矿质元素中讨论。目前公认的植物生长发育所必需的矿质元素即为上述的 13 种。矿质元素对植物的生命活动关系重大，缺乏任何一种必需的矿质元素，都会严重影响植物的生长发育，表现出其特有的缺素症。例如缺氮时，植株矮小，叶片呈淡绿或黄绿色，且先表现在植株下部的老叶上；缺铁时，叶片呈黄绿或黄白色，但先表现在上部的幼叶上。被植物吸收的矿质元素中，有些元素如氮、磷、镁在体内形成有机物后又可分解，钾在体内多呈离子状态，活动性大。所以，钾、氮、磷、镁等可参加到输导组织再循环，被代谢较强的生长着的年幼组织再次利用，故它们的缺素症先发生在植株较老的下部。而钙、铁、锰、硼、钼等形成稳定有机物后便不再分解，因此，不能再度进入输导组织移动到新生部位，病症先发生在植物幼嫩的上部。农业生产中由于土壤里的矿质元素不断被作物吸收，而作物产品的大部分又被人类所利用，所以土壤中的矿质元素（特别是氮、磷、钾）的量常不能满足作物生长发育的需要，故施肥就成了提高作物产量和品质的重要手段之一。

【灰分】植物体的干物质充分燃烧后，剩下的灰白色固体残留的物质。灰分中含有钠、钾、镁、铁、铝等金属的氧化物，磷酸盐，硫酸盐和氯化物等。构成灰分的元素称为灰分元素。因为它们最初都是岩石矿物的成分，所以也称矿质元素。目前已有 70 多种元素分别在不同植物体的灰分中发现。其中比较普遍而且量较多的有钾、钙、镁、磷、钠、铁、硅、氯、硫、铝等 10 多种。灰分元素并不都是植物所必需的营养元素。植物体内灰分的含量和成分因植物的种类和土壤条件等因素不同而异。一般中生植物灰分含量占干重的 5—10%，而盐生植物可达 45% 以上。禾本科植物所含

的钙比豆科植物的少，但硅却特别丰富。而在盐碱地上生长的植物，钠、氯含量则较多。

【溶液培养法】又称水培法。将植物根沉浸在通气、含有全部或部分必需矿质元素的水溶液中培养植物的方法。这方法的优点是溶液中的矿质元素的种类和数量是人为决定的，可根据培养目的而变更。是研究植物矿质营养的一种重要手段。例如在培养液中去掉或加入某种元素，观察植物的生长发育表现，以此来确定该元素是否为植物正常生活所必需，以及它的生理功能和缺乏时的病症。还可测定每一营养元素的最适之比例和有益于植物生长的时期等。在含有全部必需矿质元素的培养液中培养植物时，植物可正常生长和开花结实，并且可不受土壤等条件的限制，所以这方法又可用来进行蔬菜、花卉等作物的生产，特别在一些没有真正土壤的地区（如岩石荒岛、戈壁滩、宇宙飞船和潜艇中）或土壤中含有有毒成分或致病生物，从土壤进入植物而危害人的地区有应用价值。用水培法培养植物时，必须提供植物生长需要的基本条件（光、适宜的温度、空气、植物支持物或固定物等），并要保持培养液适宜的浓度与 pH 值，保证溶液中有足够的氧气。

【砂基培养法】又称砂培法。用洗净的砂砾再加入含有全部或部分必需矿质元素的水溶液培养植物的方法。此方法与溶液培养法一样，主要用于研究植物的矿质营养，也可用于作物的生产。砂培法的通气状况较水培法好，且为根系生长提供了固体介质，故比水培法更接近自然土壤条件。但砂砾中常有少量微量元素，故不宜用来作微量元素的缺素试验。

【营养元素缺乏症】简称缺素症。植物正常生活所必需的营养元素缺乏其中任何一种时，都会引起特有的生理病症，例如，缺氮时生长受到抑制（植株矮小、瘦弱，分枝少），叶片呈淡绿色，严重时呈淡黄色或黄红色。缺磷、缺钾时，生长也受到抑制，但不如缺氮显著。缺磷时叶片呈暗绿色，或出现紫红色。缺钾时叶片有焦枯斑点，从叶尖、叶边缘向内侧扩散。根据病症可判断植物可能缺乏某一元素。但由于植物种类、生育期和缺素程度的不同，病症表现也不完全一样。同时由于元素之间相互作用，使病症表现更为复杂。另外，植物生长发育不正常也可能由其他不良条件引起。例如，低温、霜冻可使作物的茎叶出现类似缺氮、缺磷的红紫色。干旱、风害也可使作物叶片出现类似缺钾的焦枯症状。因此，当作物出现病症时，除进行外形诊断外，还应采用化学分析诊断法和加入诊断法等，如病株体内认为可能缺乏的元素的含量低于正常值，补加后病症能消失，这时就可断定植物缺乏某元素。

【缺绿病】植物缺乏叶绿素的病症。叶片呈淡绿或黄色，是叶绿素合成量的降低或降解量的增多的结果。一般是由于缺乏某些必需的矿质元素（如氮、镁、铁等）所造成，也可由于其他生理上、遗传上的原因所造成。缺绿病因缺乏元素的种类不同而表现不一。例如缺氮时，失绿较均一，一般不出现斑点，而且病症先发生在下部的老叶。缺铁时，缺绿病先表现在上部的幼叶，开始叶脉间失绿，病症进一步发展，叶脉也失绿，严重时，整个叶子变成黄白色。缺绿病直接影响光合作用，对植物生长发育危害很大，严重时，造成植物死亡。

【选择透性】膜让不同物质透过其本身的难易程度。膜对不同物质

(分子或离子)具有不同透性,这是生物膜最基本的共同特性。膜的选择透性能限制物质的自由扩散,控制物质的交换和维持其内部微环境的相对稳定。所以它在生物生命活动中起重要作用。生物膜对物质的选择透性是一种生理特性。一些减弱呼吸作用的不良条件如低温、缺氧、呼吸抑制剂等,均能使透性(即膜让物质通过它的程度)增加。随着衰老,透性也逐渐变大。细胞死亡时,选择透性就完全丧失,变成通透性。

【交换吸附】植物根部细胞吸收矿质元素过程中的一个步骤。矿质元素主要以离子形式被根系吸收。例如氮主要以 NH_4^+ 或 NO_3^- ; 磷主要以 H_2PO_4^- ; 钾、钙、镁等以 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等吸收。根部细胞吸收离子,最初是经过离子交换,将离子吸附于根部细胞的表面。由于根部细胞的表面吸附有阴、阳离子,其中主要是 H^+ 和 HCO_3^- , 这些离子主要是由于根呼吸过程中放出的二氧化碳与水形成碳酸,碳酸解离为 H^+ 与 HCO_3^- ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$)。根细胞表面吸附的 H^+ 和 HCO_3^- 可分别与土壤溶液中的阳离子和阴离子进行等当量的交换,这样土壤中的盐类离子即被吸附在细胞表面。由于这种吸附离子的方式具有交换的性质,故称为交换吸附。这种交换吸附不需要代谢能量,吸附速率很快,当吸附表面形成单分子层就达到极限。吸附速率与温度无关,是属于非代谢性的。

【离子吸收】植物从外界介质中以离子形式吸收无机营养元素的过程。高等植物吸收离子的主要器官是根,地上部分也有一定吸收功能。植物细胞对离子的吸收有被动吸收和主动吸收两种方式。被动吸收是离子顺着介质和细胞之间的电化势梯度〔为化学势梯度

(浓度梯度)和电势梯度两种梯度的总和〕进入细胞,不需要代谢供应能量,所以又称非代谢吸收。离子通过扩散作用及杜南平衡进入细胞是被动吸收过程。扩散作用有两种情况:一种是简单扩散,例如一些具有水合层的无机离子(如 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^-)直径小于膜孔孔径,可从膜孔透过膜,由浓度较高的一方向较低的一方移动;另一种是借助于膜上特定蛋白质(离子载体)而透过膜,从浓度高的地方向低的地方移动,称为协助扩散或“易化扩散”。例如缬氨霉素是钾离子的专一的离子载体,它与 K^+ 形成的络合物的中央是亲水的,外周是亲脂的,所以易于通过膜的脂类双分子层。协助扩散的速度比简单扩散要快。杜南平衡是由英国化学家杜南提出的说明离子逆浓度梯度而于膜内积累的一种特殊平衡。原生质内含有许多可以解离的大分子,如蛋白质分子(通常带负电荷),它们不能通过膜扩散到细胞外,称为不扩散离子。由于它们的存在,在膜两侧产生了电势差,离子沿着这电势差而扩散,达到平衡时,细胞内的和不扩散离子带相反电荷的可扩散离子浓度高于细胞外,出现了逆浓度梯度的移动。但这样的离子积累不需要代谢能作功,所以也是被动吸收。主动吸收是依靠代谢提供的能量作功,逆着电化势梯度吸收离子的过程。是植物细胞对离子吸收的主要方式。其机理目前还不很了解,只能提出一些假说:(1)载体学说。认为生物膜有能携带离子穿过膜的特殊成分,称载体。离子接触到膜的外侧,先与膜上的载体结合形成复合物,复合物可向膜内侧移动,并把离子释放到细胞质里,载体返回到膜外侧,又可与新来的离子结合。这样,很少的载体分子就能反复转运很多的离子。目前普遍认为载体是一些蛋白质。载体与离子的结合有很强的专一性,而且完成这一转运过程需要消耗能量。在高等植物的生物膜上,迄今尚无离子载体存在的直接

证据，但有些事实支持这一学说。(2) 离子泵学说。一般认为离子泵是位于细胞膜上依赖于 ATP 的 ATP 酶。利用 ATP 水解释放的能量进行离子的主动转运。动物体内已发现 3 种离子泵 (Na^+ , K^+ 泵; Ca^{2+} 泵; H^+ , K^+ 泵)。在植物中还没有得到有关泵的确切证据。但一般认为植物体内也有泵的存在。离子吸收受介质的离子浓度、pH 值、氧分压、温度以及根内含糖量等因素的影响。

【生理酸性盐】植物从环境中吸收离子时，具有选择吸收的特性，表现在对同一溶液中的不同离子，甚至同一种盐的阳离子和阴离子的吸收量不同。例如硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ ，由于植物对氮的需要量比硫大得多，因此，植物对 NH_4^+ (阳离子) 的吸收量远大于 SO_4^{2-} (阴离子)，致使根内总的正电荷大于总的负电荷，而植物细胞中总的正、负电荷必须保持平衡，所以当根细胞对阳离子 (NH_4^+) 的吸收量超过阴离子 (SO_4^{2-}) 时 (指离子的电荷量)，就向外排放出 H^+ 保持体内电荷平衡，结果使介质 pH 值降低。硫酸铵在化学上是中性盐，但由于植物选择吸收生理活动的结果，使介质酸性增加，所以称为生理酸性盐。相反，有些化学上的中性盐如硝酸钠 (NaNO_3)，由于植物需要氮的量比钠多，所以植物对 NO_3^- (阴离子) 的吸收量大于 Na^+ (阳离子)，使体内的负电荷超过了正电荷，就有 OH^- 或 HCO_3^- 运出细胞保持体内电荷平衡，结果使介质 pH 值增加，故称为生理碱性盐。有些盐，如硝酸铵 $[(\text{NH}_4\text{NO}_3)]$ ，植物吸收其阴、阳离子的量很相近，因此不会引起介质酸碱度的变化，这种盐称为生理中性盐。由于土壤含有多种弱酸及其盐类，还含有许多两性物质 (如蛋白质、氨基酸等)，所以具有很强的缓冲能力。因此，在一般用量不过多的情况下，施

用生理酸性盐或生理碱性盐化肥时，并不能很快引起土壤酸化或碱化。但在用水溶液培养植物时，就要特别注意培养液 pH 值的变化。

【单盐毒害】把植物培养在某单一的盐溶液（如 KCl 溶液）中，植物会很快积累这盐的金属离子（ K^+ ），不久就表现出不正常状态，最后死亡的现象。即使这盐是植物必需的元素，而且浓度很低，但只要溶液中仅有一种盐，就表现毒害。例如把海生植物放在和海水的氯化钠浓度一样（甚至低 10 倍）的纯氯化钠溶液中也会发生单盐毒害。单盐毒害的原因目前还不很清楚。

【离子的拮抗作用】又称对抗作用。在发生单盐毒害的溶液（例如氯化钾或氯化钠溶液）中加入少量氯化钙或氯化钡。植物对钾或钠的吸收大大减少，毒害减弱或消除。在单纯的氯化钙或氯化钡溶液中也有毒害，加入少量氯化钾或氯化钠同样也会减弱或消除毒害。这种不同金属离子之间相互减弱或消除毒害的现象称为“离子拮抗（或对抗）作用”。金属离子之间的拮抗作用因离子而异，一价阳离子和二价阳离子（例如钾或钠和钙或钡）之间的拮抗作用大，但钠不能拮抗钾，钡不能拮抗钙。离子的拮抗作用是保护植物不受单盐毒害的一种重要现象。其机理目前还没有满意的解释。

【平衡溶液】由几种含必需矿质元素的盐类，按一定浓度和比例制成的对植物无毒害作用的混合溶液。例如进行水培、砂培用的培养液（包括缺乏某一元素的溶液）都属于平衡溶液，因为它不会发生毒害。土壤溶液是混合溶液，对陆生植物来说，也是平衡溶

液，一般不会发生毒害，但如果其中某一元素特别多时，将破坏矿质元素之间的平衡，从而引起不同程度的毒害作用。

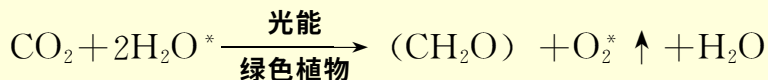
【氮素同化】从外界吸收的无机含氮物质（例如 NO_3^- 或 NH_4^+ ）经体内代谢转变成植物体的有机含氮物质（例如氨基酸、蛋白质等）的过程。由于硝酸盐中的氮呈氧化状态，而体内氨基酸等含氮有机化合物中的氮呈还原状态，所以在参与合成体内含氮有机化合物之前，必须还原成氨，这过程称为硝酸还原。既可在根中进行，又可在叶中进行。包括两大步：硝酸盐还原成亚硝酸盐（在硝酸还原酶催化下）和亚硝酸盐进一步还原成氨（在亚硝酸还原酶催化下）。硝酸还原酶存在于细胞质中，是一种含有钼、黄素腺嘌呤二核苷酸（FAD）、细胞色素 b 等几种辅基的复合蛋白质。在高等植物中，一般以还原型的辅酶 I（NADH），有时以还原型辅酶 II（NADPH）为还原剂，使 FAD 转变成 FADH_2 ， FADH_2 通过细胞色素 b_{557} 和钼离子把电子传递给硝酸盐，使其还原成亚硝酸盐。亚硝酸还原酶在绿色组织中存在于叶绿体内，以还原型的铁氧还蛋白为还原剂，它是在光合作用的光反应中由氧化型铁氧还蛋白得电子而形成的。亚硝酸还原酶在非绿色组织（根）中可能存在于前质体中，以 NAD(P)H 或其他物质为还原剂。不管是由硝酸盐还原产生的氨，还是从外界吸收铵盐的氨，在植物体内都不能积累（因为氨浓度过高对植物有毒害），它必须进一步同化为有机含氮化合物。高等植物氨同化主要是在谷氨酰胺合成酶和谷氨酸合成酶的催化下，同化为谷氨酰胺和谷氨酸。氨的同化需要消耗能量，需要还原剂，这还原剂可以是还原型的铁氧还蛋白、NADH 或 NADPH。谷氨酸和谷氨酰胺是植物体内氨同化的最初有机含氮化合物。氨同化产物再经由其他生化反应可以形成

多种氨基酸进而合成蛋白质和其他高分子氮化物。

【植物营养临界期】又称需肥临界期。植物对营养元素缺乏最敏感时期。一般作物生长初期，由种子营养转到土壤营养时，对矿质元素的需要量虽不大，但对元素缺乏非常敏感。如果此时缺乏某必需元素，会使生长发育受到很大影响，即使以后多量补给，也难以弥补以前的不良影响。例如棉花出苗后 10—20 天内对缺磷特别敏感，这时缺磷会使生长发育受到很大影响。因此，在营养临界期必须保证养分的适期供给。

光合作用

【光合作用】绿色植物利用它特有的叶绿素吸收日光能，将二氧化碳和水等无机物转化为富含能量的有机物，并释放氧气的过程。它的总过程常用一简单的方程式表示：



光合作用是地球上规模最大的无机物转化为有机物（每年约可合成 4250 亿吨）的过程，也是太阳能转变为化学能并蓄积在合成的有机物中（每年约 6.3×10^{15} 兆焦）的过程。地球上只有绿色植物（还有光合细菌）能通过光合作用，直接从太阳光截获能量，并利

用它将无机物（二氧化碳）还原成有机物，作为自身的养料。其他生物（包括人类在内）不能直接利用太阳能，而是直接或间接依靠绿色植物光合作用所提供的有机物和能量进行生命活动。因此，光合作用保证了整个生物界生命活动的进行和生命的延续。由于光合作用同化二氧化碳，释放氧气，因此，使大气中二氧化碳和氧的含量长期以来保持基本稳定。另外，光合作用对生物进化也有重要意义。地球上原始大气中几乎没有游离的氧，约在 30 亿多年前，出现了最早具有光合能力的蓝藻，地球上开始有了氧气的积累，为需氧生物的发生、发展创造了条件。由此可见，光合作用是地球上生物生存、繁荣和发展的根本源泉。光合作用包含着一系列非常错综复杂的步骤。本世纪初已知道它包括光反应和暗反应。50 年代以后逐渐认识到可把光合作用相对地分为原初反应、电子传递和光合磷酸化、光合碳同化三个阶段。前二阶段属于光反应，光合碳同化又称暗反应。光合作用的三大阶段是紧密连接起来组成的一个完整过程，它们必须彼此密切配合才能正常运转。

【叶绿体】存在于植物绿色细胞中进行光合作用的细胞器，是含有叶绿素和其他色素的质体（见下页图）。低等植物（藻类）的叶绿体有杯状、带状和各种不规则的形状，高等植物叶绿体多呈椭圆形。每个叶肉细胞有 20—100 个或更多个叶绿体。所以，叶绿体的总表面积比叶面积大得多，从而扩大了与外界的物质交换和对太阳能的吸收面积。在高等植物（尤其是种子植物）中，可看到叶绿体随光的强弱而移位。在弱光下，叶绿体将扁平的一面对着阳光，并沿着与光源方向垂直的细胞壁分布，以接受最大的光量；在强光时，叶绿体将自己的窄面对着阳光，同时向细胞的侧壁

(与光源方向平行的壁)移动,避免过度发热。成熟的叶绿体被双层膜(外膜和内膜)包围着,称外套膜或外被。其外膜表现为非选择透性膜,而内膜对物质透过的选择性很强,控制着代谢物质进出叶绿体。在叶绿体外套膜内包含有间质和层膜系统两部分。间质又称基质,是叶绿体内悬浮着复杂层膜系统的衬质。主要成分为可溶性蛋白质,呈高度流动状态,其中有一些颗粒如淀粉粒、脂类滴(也称嗜饿滴)。脂类滴的主要生理功能可能是叶绿体层膜脂类物质的贮存库,因为当层膜形成时,其数量减少,当层膜解体时,其数量和大小均有所增加。此外,间质中还有核糖体、DNA和RNA,有复制、转录和翻译系统。已证明:叶绿体自身的DNA所带的信息能控制部分结构和功能蛋白质的合成,因此叶绿体在遗传上有一定自主性。层膜系统由许多沿着叶绿体长轴平行排列的片层组成。片层是由双层膜组成的扁平囊,中间有腔,所以又称类囊体。类囊体分为基粒类囊体(或称基粒片层)和间质(基质)类囊体〔或称间质(基质)片层〕。10—100个基粒类囊体垛叠在一起,类似一垛硬币,在光学显微镜下,表现为深绿色的小颗粒,称基粒。典型的光合细胞中,每个叶绿体中一般约有40—60个基粒。在基粒与基粒之间不发生垛叠的类囊体就是间质类囊体。现在认为这两种类囊体的空腔是相通的,空腔中充满了水和溶于其中的物质。所以叶绿体的整个层膜系统,实际上是由一连续的双层膜所构成,它偶然在一定区域折叠而形成基粒。许多藻类的叶绿体内没有基粒结构,即没有基粒类囊体和间质类囊体的区别。 C_4 植物维管束鞘细胞的叶绿体也几乎没有基粒,仅有类囊体平行排列在间质中。

电镜下的菠菜叶绿体切片

1. 外套膜 2. 淀粉粒 3. 间质 4. 间质片层 5. 基粒（基粒片层） 6. 脂类滴

【光合膜】叶绿体的类囊体膜或光合细菌中含有光合色素的膜。主要是由蛋白质、脂类和色素组成。光合膜与质膜一样是以脂类双分子层为骨架。它的脂类物质主要是糖脂，其次是磷脂和硫脂。光合膜中蛋白质种类很多，有附在其表面的外在蛋白如 ATP 合成酶的 CF_1 部分和核酮糖—1, 5—双磷酸羧化酶加氧酶；有嵌入脂类双分子层中的内在蛋白如捕光叶绿素蛋白复合体、光系统 I，光系统 II、与光系统 II 联系的氧释放系统，细胞色素 f 和 b_6 的复合体以及 ATP 合成酶的 CF_0 ，这些蛋白质在膜上的排列是不对称的。光合作用的原初反应、电子传递及光合磷酸化均在光合膜上进行。

【光合色素】参与光合作用中光能的吸收、传递或引起原初光化学反应的色素。主要有叶绿素类、类胡萝卜素和藻胆素三种。在高等植物和一部分藻类中（如绿藻等），光合色素是叶绿素 a、b 和

类胡萝卜素；其他藻类除叶绿素_a和类胡萝卜素外，有的无叶绿素_b而有叶绿素_c或_d；红藻、蓝藻除叶绿素_a和类胡萝卜素外，还有藻胆素；光合细菌有细菌叶绿素和类胡萝卜素。这些色素吸收的光能都能用于光合作用。光合色素依功能不同可分为聚光色素（天线色素）和作用中心色素两类。

【叶绿素】存在于绿色植物体内的绿色色素（一类化合物）。主要包括叶绿素_a、_b、_c、_d等。叶绿素_a存在于所有能进行光合放氧的植物中（光合细菌中有细菌叶绿素），叶绿素_b存在高等植物、绿藻、裸藻中，叶绿素_c、_d只存在某些藻类中。叶绿素是叶绿酸（双羧酸）的酯。叶绿素_a的分子式为 $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ；叶绿素_b的为 $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ，即叶绿素_b比叶绿素_a多一个氧，少二个氢。叶绿素_a和_b都是由4个吡咯环构成的卟啉环、镁原子和叶绿醇等构成。它们不溶于水，溶于酒精、乙醚、丙酮等有机溶剂。在叶绿体中叶绿素是与层膜上的蛋白质结合在一起。在酸性条件下，叶绿素中的镁被氢取代成为褐色的去镁叶绿素。当以铜取代氢时，绿色又恢复。此种绿色比较稳定，不为酸所破坏，在光照下也不分解。浸制新鲜植物标本时，利用这原理可永久保持绿色。去镁叶绿素过去被认为是叶绿素的破坏产物，现知在正常情况下，它存在于植物体内，是原初电子受体，参与光合作用。叶绿素是光合作用中吸收光能的主要色素，它主要吸收红光和蓝紫光。叶绿素_a在红光区的吸收带比叶绿素_b宽，而且偏向长波方面；在蓝紫光区的吸收带比叶绿素_b窄，同时偏向短波方面。因此，叶绿素_a为蓝绿色，叶绿素_b为黄绿色。叶绿素_a和_b吸收的光能均可用于光合作用，但只有少数特殊状态的叶绿素_a（作用中心色素）能直接参与原初光化学反应，其余绝大多数叶绿素_a和全部叶

绿素 b 分子吸收的光能,只能传递给特殊状态的叶绿素 a 分子,由它们参加光合作用,因此叶绿素 a 在光合作用中起关键作用。

【类胡萝卜素】一类天然的橙、黄或红色素,由 40 个碳原子组成的四萜,不含金属元素。可分为两类:一类是胡萝卜素,它是不饱和的碳氢化合物,分子式为 $C_{40}H_{56}$ 。最常见的有 α -、 β -、 γ -胡萝卜素和番茄红素。在绿色植物中主要是 β -胡萝卜素。 β -胡萝卜素在动物和人体内可转化成为维生素 A。另一类是叶黄素,它是胡萝卜素含氧衍生物,分子式为 $C_{40}H_{56}O_2$ 。有多种异构体,呈黄色。这两类色素都不溶于水,溶于有机溶剂。它们存在于所有光合细胞的叶绿体中,能保护叶绿素免受光氧化而破坏,而且它们吸收的光通过传递,可用于光合作用;也存在于果实(番茄、西瓜、南瓜、辣椒、柿子等)、黄色花冠(蒲公英、毛茛等)、花粉、柱头等有色体中。

【聚光色素】又称天线色素。没有光化学反应活性,仅起吸收光能、传递光能的一些光合色素。例如叶绿素 b、类胡萝卜素、藻胆素以及绝大多数的叶绿素 a。它们吸收的光能,通过传递,聚集到作用中心色素分子上,好象透镜把光聚到焦点上或好似收音机的天线接受电磁波并有效的集中在一点一样。聚光色素在体内都是与蛋白质结合成复合体存在。

【作用中心色素】具有光化学反应活性,即能进行电荷分离的少数叶绿素 a。它们是一些特殊状态的叶绿素 a,目前只是根据它的吸收光谱高峰的波长作为标志。例如,有一种特殊状态的叶绿素 a,它的吸收光谱高峰的波长为 700 纳米,称为 P_{700} (P 代表色素,700

表示该色素吸收光谱高峰的波长)；另一种特殊状态的叶绿素 a，它的吸收光谱高峰的波长为 680 纳米，称为 P_{680} 。作用中心色素本身可直接吸收光能，但大多数情况下，是利用聚光色素传递来的激发能，由于所处的特殊微环境使它们能将激发能用于光化学反应，从而将能量捕获。因此，作用中心色素起着将光能转变为化学能的关键作用。

【光反应】光合作用的全部过程并不都需要光，其中需要光的一系列反应称为光反应。其内容主要包括：叶绿素吸收光能，使水分解形成氧气、质子 (H^+) 及电子，并导致形成还原型辅酶 II (NADPH) 和三磷酸腺苷 (ATP)。光反应包括原初反应，电子传递和光合磷酸化。实际上真正直接利用光能的只是原初反应、电子传递和光合磷酸化不直接需要光，但由于原初反应所转换成的化学能很不稳定，需要继续不停地通过电子传递和光合磷酸化，将它暂时贮存在比较稳定的化合物 NADPH 和 ATP 中，因此，电子传递和光合磷酸化属于光反应。光反应的主要产物是分子态氧，同时形成 NADPH 和 ATP。光反应在叶绿体的层膜上进行。

【暗反应】光合作用中二氧化碳的固定和还原反应。暗反应可简单地概括为利用光反应中生成的 ATP 和 NADPH，在一系列酶的参与下，将二氧化碳固定并还原成有机物的过程。这样就将暂贮存于 ATP 和 NADPH 中的能量，转移到有机物的键能中。就目前所知，二氧化碳的固定和还原的主要途径是卡尔文循环（即 C_3 途径）。由于二氧化碳的固定和还原反应是一系列酶促反应，只要有 ATP 和 NADPH 以及适合的条件在暗中也能进行，故一直认为与光无直接关系，称为暗反应。但 80 年代初已肯定，卡尔文循环中

的某些酶（如核酮糖-1,5-双磷酸羧化酶加氧酶、甘油醛磷酸脱氢酶等）的活性是受光调节的，在光下被活化，在暗中则钝化。这一事实改变了长期以来认为光合碳同化与光无关的传统看法。因此，只能在某种意义上把二氧化碳的固定和还原反应称为暗反应，而不能把它绝对化。

【希尔反应】离体叶绿体在光下进行水分解并释放氧的反应，是光合作用的部分反应。1937年英国罗伯特·希尔首先发现，故名。在离体叶绿体的悬浮液中，加入高铁盐并照光时，就有氧气释放，同时高铁盐被还原成低铁盐。反应中的高铁盐起氧化剂作用。活体中这种氧化剂一般认为是辅酶Ⅱ。希尔反应中氧的产生与二氧化碳无关，这暗示光合作用中氧的释放和二氧化碳还原是两个不同的过程。光合作用中释放的氧不是来自二氧化碳，而是来自水（这点已被 ^{18}O 示踪实验所证实）。

【光合作用中心】能引起原初光化学反应或电荷分离的最小单位，其成分及结构目前还不十分清楚，至少应包括原初电子供体（即作用中心色素分子）及原初电子受体。当作用中心的原初电子供体接受聚光色素传递来的光能而被激发时，将高能电子转移给邻近原初电子受体，即产生电荷分离，此时电子激发能就转化成为化学能。因此，光合作用中心是固定或捕获光能的地方。从光合细菌中分离得到最“纯”的光合作用中心由4个细菌叶绿素a及2个去镁细菌叶绿素a等组成。高等植物的光合作用中心还未被“纯化”到此程度。

【原初反应】光能被聚光色素吸收，并传递到作用中心，发生正负

离子形成的过程。该过程在小于或等于 10^{-9} 秒内完成，是一个极快速的过程。因发生在光合作用的最初阶段，故称为原初反应。该反应是光合作用中直接利用光能的阶段。在光合膜上进行。整个原初反应可归纳为四个步骤：（1）聚光色素吸收光能并被激发；（2）聚光色素分子之间激发能传递；（3）激发能传递到作用中心的原初电子供体，原初电子供体被激发；（4）作用中心的原初电子供体和原初电子受体之间发生原初光化学反应，即电子由原初电子供体移给原初电子受体，形成正负离子。

【光合量子效率】每吸收 1 光量子，光合释放的氧分子数或同化的二氧化碳分子数。光化学的当量定律规定，一个光量子最多引起一个分子（或电子）的变化，所以量子效率的最高值不能大于 1，往往是小于 1 的一个小数。为了方便起见，通常用量子效率的倒数，即量子需要量来表示。用活力最高的植物材料，在光强、温度、二氧化碳浓度等处于最优条件时，测得的光合量子需要量（即释放 1 分子氧或同化 1 分子二氧化碳所需的光量子数）为 8—12。这个数值相当于 0.12—0.08 的光合量子效率。

【光合单位】光合作用中心与其相联系的聚光色素所构成的单位。本世纪 30 年代，美国埃莫森等通过实验表明：小球藻每释放 1 分子氧（或还原 1 分子二氧化碳）需要约 2500 个叶绿素分子吸收光能。其他植物中所得数值也相近，推想叶绿素不是单个，而是形成一定大小集体协同起作用的，因而导致光合单位的提出。当时所谓的光合单位是指释放 1 分子氧或还原 1 分子二氧化碳所需叶绿素分子数，约为（2500）。随着研究的深入，光合单位概念有所修改，光合单位的叶绿素分子数值也有所变动。现在一般认为，光

合单位的大小是按其功能来计算的。如果其功能不是释放氧气或还原二氧化碳，而是吸收和迁移 1 个光量子到作用中心，由于释放 1 分子氧或还原 1 分子二氧化碳需 8—12 个光量子，因此吸收 1 个光量子的光合单位约为 200—300 ($2500/12$ — $2500/8$) 个叶绿素分子。如果传递一个电子，则光合单位为 400—600 个叶绿素分子（因为每传递 1 个电子需 2 个光量子）。

【双光增益效应】超过 680 纳米的长波红光和 650—670 纳米之间任一波长的短波红光同时照植物时，其量子效率大于这两种波长的光单独照射植物时的量子效率之和，这种现象称为双光增益效应。由埃莫森发现，故又叫“埃莫森效应”。双光增益效应暗示光合作用过程中可能有两个光化学反应相互协同作用。

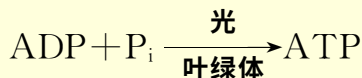
【光系统】英文缩写 PS。光合作用中参与光反应的色素系统。近代研究的结果认为，光反应包括有两个光化学反应，是通过两个色素系统进行的。这两个系统分别称为光系统 I（PS I）和光系统 II（PS II）。现已证实在叶绿体的类囊体膜上存在 PS I 和 PS II。光系统是由很多分子聚集在一起的复合物，包括有聚光色素复合体和核心复合体。后者含有光合作用中心，其中作用中心色素为 P_{700} 者称为 PS I，为 P_{680} 者称为 PS II。

【光合链】光合作用中的电子传递链。目前广泛为大家所接受的是 Z 链。它是由一些电子传递体将两个原初光化学反应串联起来的方案。按照电子传递体的氧化还原势高低做图，图形象倒 Z 字形，故名（见图）。光合作用中的电子传递是在光的推动下进行的。在光系统 II（PS II）一侧，聚光色素吸收的光能传递给原初电子供

体 P_{680} , P_{680} 被激发, 给出高能电子为原初电子受体 Q (一种醌类物质) 接受, Q 得到电子后并不停留, 它立即将电子传给质体醌 (PQ), 质体醌又给细胞色素 f (cyt f), 细胞色素 f 再给质体蓝素 (PC)。 P_{680} 给出电子后, 呈氧化态 (P_{680}^{+}), 留下一个电子“空穴”, 需从别处得到电子恢复原状, 才能继续接受由聚光色素传递来的光能。目前一般认为 P_{680}^{+} 是从 Z (Z 为何物, 尚未定论) 得到电子而使 Z 带正电荷, Z^{+} 最终从水中得到电子, 这样使水氧化分解, 放出氧气、质子 (H^{+}) 和电子, 由于水的氧化分解是由光引起的, 所以称为“水的光解”。由此可见, 光系统 II 是与光合放氧有关。同样, 在光系统 I (PS I) 一侧, 聚光色素吸收的光能传递给原初电子供体 P_{700} , P_{700} 被激发, 给出高能电子为原初电子受体 X (可能是结合态铁硫蛋白) 接受, X 将电子传给铁氧还蛋白 (Fd), 其后通过 Fd- $NADP^{+}$ 还原酶, 最后将电子传给 $NADP^{+}$, $NADP^{+}$ 接受电子的同时从介质中得到 H^{+} 就还原成 NADPH, 因此, $NADP^{+}$ 是最终电子受体。 P_{700} 交出电子成为氧化态的 P_{700}^{+} , P_{700}^{+} 从 PC 得到电子恢复原状, 又可再接受聚光色素传递来的光能。总之, 光合作用中的电子传递是光首先激发 PS I 和 PS II 各自作用中心的原初电子供体 P_{700} 和 P_{680} , 使之发生电荷分离, 从而引起电子传递, 使水中的电子最终传递给 $NADP^{+}$, 使其还原形成 NADPH, 同时释放出分子态氧。最近发现原初反应的电荷分离发生在叶绿素类之间, 即 PS II 是在 P_{680} 和去镁叶绿素之间; PS I 是在 P_{700} 和单体叶绿素 a 之间。因此, 原初电子受体分别为去镁叶绿素和单体叶绿素 a , 而 Q 、 X 则为次级电子受体。

光合链示意图

【光合磷酸化】叶绿体或载色体在光下将腺苷二磷酸 (ADP) 与无机磷酸盐 (P_i) 形成腺苷三磷酸 (ATP) 的反应。是光合作用中能量转换的一个重要部分。有循环 (式) 光合磷酸化和非循环 (式) 光合磷酸化两种类型。循环 (式) 光合磷酸化是在循环的电子流中偶联磷酸化, 产生 ATP 的反应。电子传递途径, 相当于 Z 链中的虚线 (见“光合链”图), 即 P_{700} 受光激发将高能电子交给 X, 尔后又传给 Fd, Fd 并不传给 $NADP^+$, 而是传给 $Cytb_6$, $Cytb_6 \rightarrow PQ \rightarrow Cytf \rightarrow PC$, 最后又回到 P_{700} 。这种循环的电子传递只与光系统 I 有关, 因此无氧气释放。它的反应式可概括为:



非循环 (式) 光合磷酸化是在非循环的电子流中偶联磷酸化形成

ATP 的反应。其电子传递途径相当于 Z 链中的实线，电子最终来自水，最后传到 NADP^+ 。这种非循环的电子传递过程，既包括光系统 I，也包括光系统 II。因此，非循环（式）光合磷酸化在形成 ATP 的同时，还有氧气的释放和 NADP^+ 的还原。一般认为，高等植物在正常情况下主要进行非循环（式）光合磷酸化。

【三碳途径】又称 C_3 途径或光合碳循环或还原性磷酸戊糖途径。光合碳同化的最基本、最普遍的途径。由美国卡尔文等人研究提出，故又称为卡尔文循环。此途径大致可分为三个阶段：（1）羧化阶段——二氧化碳被固定形成羧基。即二氧化碳与其受体核酮糖-1, 5-双磷酸（RuBP）在核酮糖-1, 5-双磷酸羧化酶加氧酶（RuBisCO）催化下形成 2 分子 3-磷酸甘油酸。这三碳化合物是光合作用固定二氧化碳的最初产物，故这一途径称为三碳（ C_3 ）途径。（2）还原阶段——3-磷酸甘油酸还原为甘油醛-3-磷酸。这一反应需要光反应中形成的 NADPH 和 ATP 参与，所以还原阶段是光反应与暗反应的连接点。甘油醛-3-磷酸是一种三碳糖，为光合作用的初级产物。（3）RuBP 的再生阶段——利用还原阶段形成的三碳糖在一系列酶的作用下，形成磷酸化的六、四、七、五碳糖等中间产物最后生成 RuBP，又可接受二氧化碳形成一个循环。通过循环使二氧化碳还原成 1 分子三碳糖，并使中间产物，收支平衡，需要羧化三次。3 个分子 RuBP 固定 3 分子二氧化碳，生成 6 分子 3-磷酸甘油酸，尔后被还原形成 6 分子甘油醛-3-磷酸，其中 5 个分子再生为 3 个分子 RuBP，1 个分子转变为光合产物。卡尔文循环具有自动催化特性。在通常情况下，此循环生成物三碳糖只再生原剂量的 RuBP。但在特定情况下，该循环可以不产生光合产物而增加 RuBP 的数量。这一特性可使光合碳同化适应于不断变化的

环境条件。例如当由黑夜转变为白天时，夜晚由于物质的输出，卡尔文循环的中间产物下降到一个低水平，因卡尔文循环有自动催化特性，因此，当次日白昼来临时能很快增加 RuBP 的数量，也就能很快达到高的光合速率。全世界约有 70% 的作物（例如小麦、水稻、棉花、大豆等）仅以 C_3 途径进行光合碳同化。这类植物称为 C_3 植物或三碳植物。与 C_4 植物比，它们的光呼吸高，二氧化碳补偿点高，而净光合速率低。许多研究者试图通过育种手段，从 C_3 植物中选育出具有低光呼吸、高光合速率的新品种。

【光合产物】光合碳同化所形成的甘油醛-3-磷酸（三碳糖）是光合作用的初级产物。它在叶绿体中可转化形成淀粉，暂时贮存在叶绿体内；或输出叶绿体，在近叶绿体的细胞质中转化为蔗糖；也可进入各种代谢途径直接转化成氨基酸、脂肪酸和有机酸等。所以光合作用的最终产物是多种多样的，但主要是淀粉和蔗糖。光强与光质对光合产物的种类有影响：高光照强度有利于合成淀粉和可溶性碳水化合物；低光照强度有利于合成氨基酸、蛋白质。红光有利于碳水化合物的合成，蓝光则有利于氨基酸、蛋白质的合成。

【核酮糖-1,5-双磷酸羧化酶加氧酶】缩写 RuBisCO。控制植物光合碳同化和光呼吸的关键酶，也是自然界中数量最多的一种酶。存在叶绿体的间质中，占间质蛋白质总量的 50%。在三碳途径中催化核酮糖-1,5-双磷酸发生羧化反应形成 2 分子 3-磷酸甘油酸。70 年代初发现它不仅是羧化酶，而且还是加氧酶，即它又可催化核酮糖-1,5-双磷酸加氧，生成 1 分子 3-磷酸甘油酸和 1 分子磷酸乙醇酸。后者进一步转变成乙醇酸，是光呼吸的底物。因此，这酶

的全称应是核酮糖-1, 5-双磷酸羧化酶加氧酶, 具有双重催化功能。它的分子量为 $1—5.5 \times 10^5$ 。这酶的羧化活性与加氧活性的比例取决于周围二氧化碳和氧之比。

【光呼吸】植物绿色器官或组织依赖于光的吸氧和放二氧化碳的过程。其生化途径和在细胞中发生的部位与一般呼吸（又称暗呼吸）不同。光呼吸的底物为乙醇酸, 是在叶绿体中形成, 由三碳途径的中间产物——核酮糖-1, 5-双磷酸 (RuBP), 在 RuBP 羧化酶加氧酶催化下与氧化合生成 1 分子三磷酸甘油酸和 1 分子磷酸乙醇酸, 后者进一步转变为乙醇酸。由于 RuBP 的再生需要光, 因此, 光呼吸必须在光下, 在光合作用进行时才进行。乙醇酸的氧化在过氧化酶体中进行, 而释放二氧化碳在线粒体, 故光呼吸是由叶绿体、过氧化酶体和线粒体共同完成的。其生理意义至今还不很清楚, 有几种不同的看法: 有人认为它是一种浪费, 因为这一过程不形成 ATP 而使光合固定的 20—40% 的碳又变为二氧化碳, 减少了有机物的积累, 对植物的生长和产量不利, 而且认为控制或减少光呼吸有可能提高光合效率, 增加产量; 有人认光呼吸既然在进化过程中被保留下来, 而且它普遍存在于所有绿色植物中, 对植物代谢应有积极意义, 例如它可以在高光强下起保护叶绿体免受光破坏的功能等。

【二氧化碳补偿点】在光照下, 植物光合作用所吸收的二氧化碳的量与呼吸作用释放出的二氧化碳的量达到动态平衡时的外界的二氧化碳浓度。这时净光合速率为零。所以, 只有在二氧化碳补偿点以上才能在表观上看到植物的光合作用, 才能积累有机物。 C_3 植物的二氧化碳补偿点为 40—60vpm [$1\text{vpm} = 1/1000000$ (体积

比) $\uparrow$ ，而 C_4 植物只有 2—5vpm。 C_4 植物的二氧化碳补偿点比 C_3 植物低，意味着当二氧化碳浓度低于 C_3 植物的二氧化碳补偿点时， C_4 植物还能利用这低浓度的二氧化碳进行光合作用。

【四碳途径】四碳双羧酸途径的简称。又称 C_4 途径。或以发现者名字命名为哈奇-斯莱克途径。光合碳同化的一个附加过程。先是在叶肉细胞中，二氧化碳与其受体磷酸烯醇式丙酮酸 (PEP)，在磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶催化下形成草酰乙酸，草酰乙酸进一步转变为苹果酸或天门冬氨酸 (因植物种类而异)。这些四碳双羧酸运转到维管束鞘细胞，在那里脱羧放出二氧化碳，同时产生丙酮酸 (C_3 酸)。二氧化碳进入卡尔文循环 (即 C_3 途径) 还原成糖，丙酮酸返回叶肉细胞在 ATP 的参与下转变为 PEP，PEP 又可固定二氧化碳形成一个循环 (见下页图)。由图可见： C_4 途径不能单独完成二氧化碳的同化过程，形成糖还必须通过 C_3 途径。 C_4 途径只是一个吸收固定和运转二氧化碳的过程，它每固定 1 分子二氧化碳，需要消耗 2 个 ATP。由于 PEP 羧化酶对二氧化碳的亲合力比 RuBP 羧化酶要大得多，因此，能将空气中低浓度的二氧化碳固定，并以四碳酸形式运到维管束鞘细胞，脱羧，使这些细胞中的二氧化碳的浓度高于空气中二氧化碳的浓度，以利于光合碳循环的进行。因此， C_4 途径的功能相当于一个由 ATP 开动的二氧化碳泵，起到改善二氧化碳供应的作用。在光合碳同化过程中，同时具有 C_4 途径和 C_3 途径的植物，因为它们同化二氧化碳的最初产物是四碳化合物苹果酸或天门冬氨酸，所以称为四碳植物或 C_4 植物，如玉米、高粱、甘蔗等。这类植物对二氧化碳的同化是由两类细胞 (叶肉细胞和维管束鞘细胞) 协同工作而完成的。它们具有二氧化碳补偿点低、光呼吸弱、光合最适温度高、强光下净光

合速率高等光合特征。

四碳途径示意图

a. 叶肉细胞 b. 维管束鞘细胞

注：图中 PGA 为 3—磷酸甘油酸；RuBP 为核酮糖—1，5 双磷酸

【CAM 途径】景天科植物酸代谢（Crassulacean Acid Metabolism）途径的简称。是景天科、仙人掌科等一些适应干旱环境植物具有的一种特殊的光合固定二氧化碳的途径。这类植物的绿色部分具有昼夜酸波动的现象，即夜间积累有机酸，白天又逐渐消失；它们的气孔是白天关闭，夜晚开放。CAM 途径和 C_4 途径一样，也是光合碳同化的一个附加过程。其特点是在夜间通过磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶固定二氧化碳形成草酰乙酸，后者还原成为苹果酸，贮存在液泡中。白天，在光下苹果酸由液泡逸出，释放二氧化碳，再参加卡尔文循环转变成糖。因此这类植物虽然白

天气孔关闭，仍能进行光合作用。CAM 植物和 C_4 植物相似也有两个固定二氧化碳的过程。但 C_4 植物首次固定二氧化碳（在叶肉细胞）和还原二氧化碳（在维管束鞘细胞）是在不同细胞中进行，即二氧化碳的固定和还原在空间上是分隔开的，而 CAM 植物首次固定二氧化碳（在夜间）与二氧化碳还原（在白天），在时间上是分开的。因为这类植物生长在高温干旱环境中，干旱的威胁常影响到它们的生存，为了最大限度地减少水分的丢失，不得不改变白天气孔开放吸收二氧化碳的习性，而在凉爽的夜晚开放气孔来吸收光合作用所需的二氧化碳。CAM 途径使这类植物的蒸腾系数远低于 C_3 、 C_4 植物。它的光合速率也低于其他二类植物，因此生长缓慢，但它能在其他植物难以生存的干旱、炎热的生态条件下生存和生长。

【光饱和现象】植物的光合速率在一定范围内随光照强度增加而增加，但当光照强度增加到一定数值后，再继续增加光照强度，光合速率不再增加，这现象叫光饱和现象。植物光合作用开始达到光饱和现象时的光照强度称光饱和点。光饱和现象产生的重要原因可能是自然条件下，大气中二氧化碳的浓度对光合作用来说是很低的（约 340vpm），尤其在光照充足时，这样低的二氧化碳浓度不能满足旺盛光合的需要，致使暗反应的速率不能与光反应的相配合，因此，限制了整个光合作用速率。 C_4 植物有 C_4 途径，因此，它们的光饱和点比较高，甚至消失光饱和现象。例如玉米叶子光饱和点可达 10 万勒克斯 (Lux)（相当在热带夏季无云的中午太阳照射到地面的光强）。光饱和点代表植物需光的上限和对强光的利用能力。阳地植物的光饱和点为 3—10 万勒克斯；阴地植物为 1 万勒克斯或更低。

【光补偿点】光合作用所吸收的二氧化碳与呼吸作用所放出的二氧化碳达到动态平衡相等时的光照强度。处于光补偿点时，光合作用形成的有机物和呼吸作用消耗的有机物，在数量上也互相补偿，故没有光合产物的积累。考虑到夜间呼吸作用还要消耗有机物，所以处于光补偿点的植物不仅不能生长，时间长了还会由于饥饿而死亡。光补偿点是植物需光的下限。光补偿点因植物种类和外界条件不同而异。一般阳地植物的光补偿点高于 500—1000 勒克斯 (Lux)，而阴地植物的则低于 500 勒克斯。温度升高时，呼吸作用增强的趋势要大于光合作用，为了平衡呼吸作用的消耗就需要有较高的光照强度，即温度升高时，光补偿点也上升。为此，冬季温室中夜间和阴天的室温应适当降低。

【光合速率】又称光合强度。光合作用量的指标。光合作用过程包括二氧化碳的吸收、氧的释放和有机物的合成三个方面，测定其中任一项的数据，都可作为光合速率的指标。常用单位是每小时每平方分米叶面积吸收二氧化碳的毫克数 ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)，或每秒每平方米叶面积吸收二氧化碳的微摩尔数 ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。由于植物进行光合作用的同时也进行呼吸作用，因此，测出的光合速率实际上是光合速率和呼吸速率的差值，称为净光合速率或表观光合速率。真正的光合速率是植物在光下实际同化二氧化碳的量，它等于净光合速率与呼吸速率之和。呼吸速率的数值通常是以同样的材料在暗中测得的。但植物在光照下除了进行普通的呼吸作用外，还进行光呼吸，而在暗中测得的呼吸速率不包括光呼吸。因此，真正光合速率的数值实际上并不很真实。通常所说光合速率都是指净光合速率。植物光合速率低的为

5—10 毫克 $\text{CO}_2 \cdot \text{分米}^{-2} \cdot \text{小时}^{-1}$ ，高的可达 150—180 毫克 $\text{CO}_2 \cdot \text{分米}^{-2} \cdot \text{小时}^{-1}$ 。

【光合生产率】又称净同化率。另一种表示光合作用量指标。较长时间内（一昼夜或一周）叶片平均的干物质积累速率。单位以每天每平方米叶面积积累干物质重的克数来表示。光合生产率比短期测得的光合速率要低，因为其中包括夜间呼吸作用的消耗和光合产物的向外运输。一般光合生产率为 $4-6 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2} \cdot \text{日}^{-1}$ ，高的也可达 $15-16 \text{ 克} \cdot \text{米}^{-2} \cdot \text{日}^{-1}$ 。

【光能利用率】单位地面上植物光合作用贮存的化学能与照射在同一地面上太阳能之比。1 摩尔碳水化合物 (CH_2O) 燃烧时放出的能量是 $2870 \text{ 千焦}/6=478 \text{ 千焦}$ 。光合作用中每还原 1 分子二氧化碳约需 8—12 个光量子，如按 8 个计算，1 摩尔波长 700 纳米光量子所含能量约为 171 千焦，则 700 纳米红光下的能量利用率约为 35% ($478/8 \times 171$)；1 摩尔波长 400 纳米的光量子所含能量约为 299 千焦，400 纳米紫光下的能量利用率约为 20% ($478/8 \times 299$)（光量子所含能量与其波长成反比，700 纳米光量子含能量少，因此能量利用率高）。光合作用只能利用太阳辐射中的可见光（400—700 纳米），称为光合有效辐射，平均光能利用率约为 28%。已知可见光仅占太阳总辐射能量的 40—50%。因此，太阳总辐射光能利用率理论上限为百分之十几。至于田间植物的最大光能利用率，还要打多次折扣。例如照射到地面上的光能有一部分被反射及透射到土壤而损失，作物对光辐射的吸收很少超过 80%。另外由于光合作用是一个涉及许多步骤的复杂过程，每个步骤都可能发生能量损失，因此，射入叶组织中被光合色素吸收的有效辐射用于

光合作用的约占其中的 70—90%。因此有人认为田间作物在理想的温度、水分供应和生理状况等条件下，最大的光能利用率接近 10%。如果再考虑到占光合生产 $1/3$ 的呼吸消耗，则净生产的光能利用率仅为 6—7%。目前世界上大部分地区作物的年光能利用率不到 1%。作物整个生长季节的光能利用率很少超过 3%。因此，农业增产的潜力是很大的。要提高光能利用率可从以下几方面来考虑：（1）延长光合作用时间（如提高复种指数、延长生育期）。（2）适当增大光合面积（如合理密植、改善株型）。（3）提高光合速率（如选育高光合能力的作物和品种、创造最适合的光合条件）。（4）减少光合产物的消耗（如降低呼吸消耗，防止花、果、叶不正常脱落和病虫害）等。

【限制因子定律】当一个过程的速率，被若干个不同的独立因子所影响时，这个过程的具体速率，被其最低量的因子所限制。这最低量的因子被称为限制因子。现以光照和二氧化碳二个因子为例，假设在相对低光强（能供叶片每小时同化 5 毫克二氧化碳的能量）下，二氧化碳的浓度每小时只能供应 1 毫克时，光合速率便受二氧化碳这因子限制。当二氧化碳浓度增加时，光合速率就沿 AB 曲线增加（见图）。二氧化碳浓度增至每小时 5 毫克时，再增加二氧化碳的量，光合速率不再增加，变为常数，沿 B 到 C。这时光照强度成了限制因子（因为在相对低光强时的光能，每小时只能同化 5 毫克的二氧化碳，多余的二氧化碳就不能利用）。如果把光照强度提高到每小时能同化 10 毫克二氧化碳的能量（相对高光强）时，光合速率随二氧化碳浓度增加而升高，得到 BD 曲线。图中曲线表明光合速率随限制因子的增加而相应增高，直至某一因子变为限制因子。这定律是英国植物生理学家布莱克曼于 1905

年首先提出，它是一切单因子研究的理论基础。19 世纪末，许多学者研究各种因子（光强、温度、二氧化碳等）对光合作用的影响，想找出光合过程中各因子的“最适值”，而结果混乱，莫衷一是。这定律辨证地分析了这些问题，指出：任何一个因子都没有一个绝对不变的“最适值”，而要看其它因子，其它因子变更时，这因子的最适值也在变。如图中，在相对低光强时， a_1 为二氧化碳浓度的最适值；在相对高光强时， a_2 为最适值。所以，在研究一个因子对过程的影响时，必须考虑其它因子对这过程的影响。在布莱克曼提出限制定律后，很多科学工作者做了类似的实验，结果并不象布莱克曼所绘制的图型那样曲线的转变是突然的，而是逐渐的（图中的虚线）。因为各因子之间彼此相互影响。例如当二氧化碳浓度为限制因子时，增加光强，可使温度升高，二氧化碳分子运动加快，而且强光可使气孔开度加大，增加二氧化碳向叶内的扩散，因此所得曲线转变是逐渐的。虽然如此，限制过程速率的仍是最低量因子，即限制因子。

限制因子定律示意图

【碳同化作用】自养植物吸收二氧化碳转变为有机物的过程。有细菌光合作用、绿色植物的光合作用和化能合成作用。这三种类型的过程不同，进化地位和发生规模也不同。细菌光合作用是自养

性的第一阶段。它在厌氧条件下利用日光能同化二氧化碳合成有机物，它的发生标志着地球上生命发展的重要变化。它利用硫化氢、异丙醇等作为氢的来源，因此细菌光合作用过程中不释放氧。由于它用作氢源的物质分布很不普遍，故限制了这种机能的发展。自养性发展的第二阶段是绿色植物的光合作用。它利用日光能，以自然界分布最广的水作为氢供体，去还原二氧化碳合成有机物，因此使得碳素同化作用在地球上广泛发展起来。同时由于它产生大量氧气，也引起了地球与整个生物界情况的改变，使需氧生物代替厌氧生物而占统治地位。绿色植物的光合作用是地球上最广泛，最重要的碳素同化作用，它合成的有机物最多，对人类的影响也最大。化能合成作用是利用无机物（硫化氢、氨等）氧化反应所产生的化学能，将二氧化碳同化为有机物。它发生在绿色植物光合作用之后。由于它的能源物质和能量有限，因此也限制了它在自然界存在的规模。

植物呼吸作用

【植物的呼吸作用】植物活细胞内经过某些代谢途径，使有机物氧化分解从而释放能量的过程，是新陈代谢的重要组成。一切生活细胞都需要呼吸，当呼吸停止，生命也就停止。就高等植物来说，呼吸作用可分为有氧呼吸和无氧呼吸两种类型。有氧呼吸是生活细胞在分子态氧的参与下，将呼吸底物彻底氧化成为二氧化碳和水，并释放能量的过程，是高等植物呼吸的主要形式。通常所说的呼吸作用指的就是有氧呼吸。植物的有氧呼吸一般包括糖酵解、

三羧酸循环，电子传递和氧化磷酸化几个阶段，还可能包括戊糖磷酸途径。植物主要以糖作为呼吸底物。无氧呼吸有时亦称发酵，是生活细胞在没有分子氧参与下，将底物进行不彻底氧化，产生不完全氧化产物（主要是酒精，有些器官如马铃薯块茎、甜菜块根等为乳酸），同时释放少量能量的过程。无论是有氧呼吸还是无氧呼吸，都是一个氧化还原过程，其结果总是有机物（即呼吸底物）发生某种程度的氧化，产生二氧化碳或其他产物，同时释放能量。呼吸过程是在一系列酶的作用下，分许多步骤进行的，其中产生多种中间产物是植物体内许多重要有机物，如蛋白质、核酸、脂类、色素、类萜等的生物合成的原料。同时释放能量也是逐步的，把贮藏在有机物中的一部分化学能，转变为可迅速利用的能源（ATP），供植物进行生理、生化活动（如矿质吸收、物质运输、有机物合成以及生长、运动等）的需要。由于呼吸作用供给能量，带动了各种生理生化活动，其中间产物又是植物体内物质千变万化的基础，所以，呼吸作用成为代谢中心。呼吸速率常作为生命活动强弱的指标。

【呼吸速率】又称呼吸强度。表示呼吸作用强弱的重要指标。呼吸作用的外观表现是吸收氧气、释放二氧化碳和消耗有机物。因此，呼吸速率是以单位时间内，单位供试材料所吸收的氧量，或所释放的二氧化碳量或所损失的干物质重量来表示。用损失的干重表示时，需要测定供试材料在一段呼吸时间的前和后的干重变化。由于测定干重，需将植物烘干，因此前后的二次测定不可能用同一材料，这就可能因个体的差异给实验结果带来误差。另外，呼吸所损失的干物质量是很低的，故常需用大量的样品和长的测定时间，给测定带来困难。因此，呼吸速率一般用气体交换速率（释

放二氧化碳或吸收氧的速率)来表示。通常用的时间单位为小时,气体交换量的单位为微升,供试材料的单位有克鲜重、克干重、毫克氮等。由于呼吸作用是在生活的原生质中进行,细胞壁、液泡中的物质不参与呼吸作用,故植物材料细胞壁的厚薄、液泡的大小以及细胞内贮藏物质的多少都会影响呼吸速率的数值。用鲜重或干重表示,虽有上述缺点,但在实际工作中比较方便,现一般仍采用。以毫克氮为单位表示,基本上能代表原生质的数量,比较合适,但需测定供试材料的含氮量,手续比较麻烦。

【呼吸商】又称呼吸系数。缩写为 RQ 。植物组织在一定时间内放出二氧化碳摩尔数或体积与吸收氧的摩尔数或体积的比值。是表示呼吸底物性质和氧供应状况的一种指标。在底物完全氧化条件下,呼吸商的大小与底物分子中氧的相对含量有关。例如糖的 RQ 等于 1; 脂肪的 RQ 小于 1; 有机酸的 RQ 大于 1。在缺氧情况下,由于存在无氧呼吸,而无氧呼吸只释放二氧化碳而不吸收氧,故 RQ 会异常增高。另外,呼吸过程中有些中间产物作为某生物合成的原料而不完全氧化时,会影响呼吸商的大小; 植物体内一些影响二氧化碳释放量或氧的吸收量的反应,如羧化反应、硝酸盐还原反应等,也会影响呼吸商的数值。

【抗氰呼吸】不受氰化物抑制的呼吸作用。它的电子传递也发生在线粒体内膜上,但电子传递途径不是通过细胞色素呼吸链,而是由泛醌分岔绕过细胞色素系统,通过另一途径传递到氧(见图中虚线)。它的末端氧化酶为交替氧化酶,对氰化物不敏感。这一电子传递途径称为抗氰支路,也称为交替氧化途径。此途径上可能只有一个磷酸化部位,产生 ATP 很少,大部分的能量转变为热

能，因此，这种呼吸作用的特点是释放热能多，故又称为放热呼吸。现已知抗氰呼吸普遍存在于高等植物和微生物中，其生理意义还未完全清楚。目前比较一致认为佛焰花序植物开花时的产热，使其在寒冷中生存下来，并且由于放热，使刺激性化学物质挥发出来，吸引昆虫为其传粉，是抗氰呼吸的生理意义之一。

高等植物呼吸链的示意图

【呼吸跃变】又称呼吸峰、呼吸高峰。果实进行细胞分裂时，呼吸速率很高，随着果实长大，逐渐减弱，果实体积达到最大时（即生长停止时），达到最低点。有些果实例如苹果、梨、香蕉、番茄等，当进入成熟期，呼吸速率突然升高，之后再次减弱。这一呼吸速率突然升高称为“呼吸跃变”。有呼吸跃变的果实称为“跃变型果实”。这类果实在母株上或收获后都会出现呼吸跃变。有些果实如柑桔、柠檬等不出现呼吸跃变，称为“非跃变型果实”。跃变型果实在呼吸跃变出现时或出现前、后，果实内乙烯生成急剧上升，因此，果实成熟期出现的呼吸跃变与乙烯生成之间有密切关系。呼吸跃变是果实生命过程中一个关键时期，它的出现与果实成熟的开始相一致，这时果实的色、香、味发生变化，即绿的底色消失，变成黄、橙、红或其他颜色；甜度增加，酸味减少；散

发出独特的香味以及果实软化等。因此，一般可将呼吸跃变的出现作为果实进入成熟阶段的一个生理指标。它标志着果实达到最佳的食用状态；同时也标志着果实已开始衰老，不耐贮藏。生产实践中，可施用乙烯或乙烯利，使呼吸跃变提前出现，加速果实成熟；或采用降低氧气浓度、提高二氧化碳浓度的方法，推迟呼吸跃变的出现，延迟果实成熟，延长贮藏时间。

植物体内溶质的运输

【植物体内溶质的运输】植物体内的无机物或有机物以溶质的形式存在于水溶液中被运输的现象。这些溶质和水一样主要是通过输导组织而进行运输的。溶质中有约 95% 是光合作用形成的有机物，约 5% 是吸收的无机盐（矿质元素）。根系从土壤中吸收的无机盐向地上部的长距离运输基本是在木质部导管内进行。从土壤转运到根木质部导管的途径有二条：一条是通过表皮细胞的质膜进入共质体，经共质体的传递，再到导管；另一条是先在内皮层以外的质外体中移动，到内皮层凯氏带处受阻，通过皮层或内皮层细胞的质膜进入共质体，再转运到导管。然后随蒸腾流运到地上部分，供叶的代谢和生长。因此，从根向地上部的木质部溶质流是单向性的。在叶部多余的无机盐可随着经筛管外运的光合产物运出叶子，沿韧皮部向下（也可向上）运输。叶肉细胞光合作用形成的有机物主要通过共质体（也可部分地通过质外体）移向叶脉筛管。有机物在体内长距离的运输主要在韧皮部筛管中进行。韧皮部溶质的运输是双向性的（可上可下）。运输方向取决于不同

器官或组织对养分的需要，因而产生了从源到库的转移。在木质部和韧皮部之间有横向运输。植物体内的纵向运输的阻力比横向运输的小。

【源和库】源是指植物制造和输出有机物为其他器官提供营养的器官或部位（例如成长的叶子）和可以再调出贮藏物质的器官或部位（例如正在发芽种子的胚乳或子叶以及块根、块茎）。库又称“壑”或“汇”，植物消耗或贮藏有机物的器官或部位，例如生长点、正在发育的种子、果实、块根、块茎等。源和库是在研究有机物在各器官运输、分配和积累的关系中提出的概念。有机物由源向库流动，其速率随源强度和库强度提高而增加。在植物生长发育的过程中，一种器官是源还是库，随生长发育情况而变化。例如叶子是制造有机物的器官，但正在生长的幼叶，它不仅不能输出有机物而且还需要从成长的叶片那里输入有机物，因此是库。随幼叶逐渐长大，例如大豆幼叶长到全叶长 30—50% 时，输入有机物渐趋停止，输出占优势，该叶片的地位也从库转变成源。又如种子在形成期是有机物的库，到萌发时，则成为源。源库关系改变会影响有机物运输的方向和速率。源是库的供应者，库对源有依赖作用。例如小麦抽穗后剪去部分叶片，穗重必然下降。而库的接纳能力对源的同化效率以及运输分配能力也有重大影响。例如剪去麦穗，会使旗叶的光合速率下降 50%。所以，源和库是相互依存、互有影响的统一整体。

【传递细胞】又称转移、转运或转输细胞。植物体内一种特化的薄壁细胞。主要特征：细胞壁上有较多的胞间连丝；次生壁向内突起（呈指状或鹿角状），质膜随之反复折叠从而使其表面积扩大；

细胞质稠密、核大，并含有许多利于吸收和分泌的内质网、线粒体等细胞器。它有吸收和分泌的功能。植物体的许多部位都有传递细胞存在，这些部位往往都是需要特别强烈的短途运输的地方，因此传递细胞在短途运输中有重要的功能。它可主动吸收周围的溶质，转入到筛管或导管中。可将溶质在筛管的源端装入，在库端卸出，从而维持压力流浓度的梯度。盐腺的泌盐和蜜腺的泌糖，也有传递细胞参加。

【压力流动假说】 又称集体流动假说。是德国明希 1930 年提出的说明有机物在韧皮部中长距离运输机理的一种假说。其基本观点是：有机物在筛管中随液流的流动而移动，液流流动的动力是输导系统两端的压力势差。明希用物理模型来说明这一基本原理（见图）。a 和 b 是两个渗透计分别浸于 A 和 B 水槽中，水分可自由出入，而溶质则不能。假设 a 渗透计中溶液的渗透势小于 b 中的，这样，致使 a 渗透计中产生的压力势大于 b。a 与 b 渗透计由 c 管相连，所以 acb 整个系统中的压力势可以传递，从而使 a 中的溶液经 c 向 b 中流去，这就是所谓的压力流动。即外界的水分不断进入 a 渗透计，a 中溶液通过 c 不断流向 b 渗透计，b 中的水不断向外渗出，直至整个系统中溶液浓度相等，相应地压力势也相等时即停止流动。如果不断地向 a 渗透计加入溶质，从 b 渗透计中移走溶质，保持 a 中溶液的渗透势小于 b，这样液流就可以连续不断地由 a 通过 c 流向 b。明希认为这模型与生活的植物体类似，a 相当于源，例如成长的叶片，b 相当于库，例如生长点，c 相当于连接源与库的韧皮部筛管。由于源不断形成有机物而库不断消耗有机物，因此输导系统两端所产生的渗透势差就形成了压力势差。有些实验观察支持这个假说，例如蚜虫的吻针插入韧皮部筛管中

后，从吻针切口会有汁液不断溢出来，说明筛管中的汁液确实受正压力的推动。由于筛板上的筛孔内常有称为 P-蛋白（又称韧皮蛋白）的束状纤丝贯穿其中，给液流带来阻力，因此设想筛管中汁液的流动除了靠源与库两端的压力势差推动外，还可能需要中间推动力的参与。

压力流动假说模式图

1. 加 a 溶质
2. 移出溶质

植物激素

【植物激素】植物自身产生的调节物质。极低浓度（小于 1 毫摩尔或 1 微摩尔）时，就能调节植物的生长发育过程，一般可由其产

生部位移向作用部位。本世纪 30 年代发现生长素, 50 年代确定了赤霉素和细胞分裂素, 60 年代又发现了乙烯和脱落酸, 这些就是目前大家公认的五类植物激素。它们都是些简单的小分子有机化合物, 但它们的生理效应却非常复杂、多样。例如从影响细胞的分裂、伸长、分化到影响植物的发芽、生根、开花、结实、性别的决定、休眠和脱落等。所以, 植物激素对植物的生长发育有重要的调节控制作用。植物激素的化学结构已为人所知, 有的已可人工合成, 如吲哚乙酸; 有的还不能合成, 如赤霉素。目前市场上售出的赤霉素试剂是从赤霉菌的培养过滤物中制取的。这些人工生产的吲哚乙酸和赤霉素, 与植物体自身产生的吲哚乙酸和赤霉素在来源上有所不同, 为了有别于内源激素, 称它们为植物生长调节剂或外源激素。除公认的五类植物激素外, 还发现了一些具有类似激素生理活性的物质。例如 70 年代末, 从油菜花粉中分离提取出一种甾体类物质, 定名为油菜素内酯。它广泛存在于植物体内, 具有极强的生理活性。植物激素对生理过程和生长发育的调节, 往往不只是单一激素的作用, 而是受着多种激素综合平衡的影响。

【生长素】发现最早的一种植物激素, 化学名为 3-吲哚乙酸, 简称 IAA。分子式为 $C_{10}H_9O_2N$, 已能人工合成。纯品为无色结晶, 易溶于乙醚、乙醇、丙酮等。生长素具有促进茎的伸长生长、促进发根、诱导愈伤组织形成、促进子房膨大成为果实、抑制器官脱落等多种生理作用。但其最基本的是促进细胞的伸长生长。不同器官对生长素的敏感度不同。一般来说, 根最敏感、茎比较差、芽介于根和茎之间。植物体内生长素主要在茎尖和茎尖下的幼叶, 以及其他分生组织中形成。在不断形成的同时, 通过光氧化或吲哚

乙酸氧化酶的作用而被破坏。生长素在体内可以游离状态存在,也可和葡萄糖、氨基酸、肌醇等相结合成为结合态。前者具有生理活性,后者失去活性,但在一定条件下,有些可转化为游离状态。自本世纪 30 年代发现吲哚乙酸后,已人工合成了许多和吲哚乙酸有类似生理效应的生长调节剂,如吲哚丁酸(简称 IBA)、萘乙酸(简称 NAA)、2, 4-二氯苯氧乙酸(简称 2, 4-D)等。它们不象吲哚乙酸那样易被体内的吲哚乙酸氧化酶分解而失活,药效持久,因此使用生长素时,通常选用这些具有生长素生理活性的生长调节剂。目前主要用于促进插枝生根、果实发育,疏花和防止落果以及杀死杂草等。植物体内除了吲哚乙酸外,还有一些天然的化合物如吲哚乙腈、4-氯吲哚乙酸以及某些非吲哚类化合物(如苯乙酰胺)等也具有生长素的活性,统称为生长素类。但植物体内最广泛存在的还是吲哚乙酸,所以,一般说生长素,指的就是吲哚乙酸。也有人把生长素广义地指吲哚乙酸以及和吲哚乙酸有相同生理作用的物质。

【生长素的极性运输】生长素在植物体内具有极性运输的特性,即只能从形态学上端(顶端)向下端(向基)运输,而不能倒转过来运输。可用实验证明。从燕麦胚芽鞘上切取一段, A 为它的形态学上端, B 为下端。把含有生长素的琼脂块(供应块)放在 A 端,把另一块不含生长素的琼脂作为接受块放在 B 端,过些时间,接受块中含有生长素,这表明:供应块中的生长素沿胚芽鞘由形态学上端运往下端,并收集于接受块中。这种极性运输即使在胚芽鞘段倒置(即 A 端在 B 端下面)时仍能保持。但如将供应块放在 B 端,把接受块放在 A 端,不管芽鞘段如何放置,接受块中都收集不到生长素。极性运输是生长素纵向运输的形式。它可逆浓度

进行，是一种与代谢过程密切联系的主动运输。极性运输在胚芽鞘和茎尖尤为显著，在老的茎切段则不明显。其实极性运输只表示生长素的总的纵向运输效果。在茎中除了向基的极性运输外，还存在着通过扩散及蒸腾流作用进行的向顶端的运输，但前者总是占优势。因此，从整体组织看，生长素的移动方向是向基性的。生长素在根中的移动方向，尚没有一致意见。

【燕麦弯曲试法】生长素的生物鉴定法的一种。1928年由荷兰的温特创建。他把切下的燕麦胚芽鞘的尖端放在琼脂块上，过一些时间，移去鞘尖，把这琼脂块偏放在切去尖端的胚芽鞘的一侧，结果胚芽鞘向对侧弯曲。这是因为胚芽鞘尖端可产生促进生长的物质——生长素，它能扩散到琼脂块中，再由琼脂块传递给切去尖端的胚芽鞘，使放琼脂块一侧的生长比对侧要快，因此发生弯曲。收集在琼脂块中的生长素量与燕麦胚芽鞘的弯曲角度(α)之间有一定关系。在生长素低量($0.2 \text{ 毫克} \cdot \text{升}^{-1}$ 以内)时，燕麦胚芽鞘弯曲角度和生长素浓度成正比。因此，燕麦弯曲试验可作为生长素定量的测定方法。这方法后来从简易化和提高灵敏度方面作了多次改进。用纯系的燕麦去皮种子在暗中 25°C 下发芽，一天后用红光照射发芽过程中的种子 2 小时左右，抑制其中胚轴伸长，3 天后选长度达 30 毫米直立、均一的胚芽鞘，连同其中包含的第 1 叶片一起，从基部（胚芽鞘节上）切断，把切下的胚芽鞘的基部，直插在 0.75% 的琼脂胨中深 5 毫米处。把顶端 5 毫米部分的胚芽鞘切除，内部的第 1 叶只切去部分尖端。在芽鞘的切口一侧，靠着第 1 叶，放上含有待测物的 1.25% 的琼脂块 ($2 \times 2 \times 2$ 毫米)。在黑暗、高温下，90—120 分钟后，取下芽鞘放在照相用的显影纸上照光，用它的像测定其弯曲角度。与吲哚乙酸标准浓度-弯曲角

度曲线对照，可求得待测物生长素的浓度。以上操作需在弱红光或绿色安全光下进行。用这方法最低能测知 2×10^{-7} 摩尔·升⁻¹ 的吲哚乙酸。

【赤霉素】简称 GA。一类植物激素。由四个异戊二烯组成的双萜类化合物。最初是从引起水稻恶苗病的赤霉菌分泌物中分离出来，由此定名为赤霉素。之后，又从高等植物和真菌中分离出许多赤霉素，到 1987 年已有 73 种。按照被分离出来的先后次序分别命名为 GA₁、GA₂、……，统称为赤霉素类，用 GAs 表示。这些赤霉素在化学结构上具有共同的基本骨架是四个环的赤霉烷。它们不同之处在于：碳原子总数不同（有 19、20 个碳原子两类）；赤霉烷环上取代基、双键数目和位置不同；A 环上内酯的有无。不同赤霉素具有不同的生物活性，而不同植物或生长发育不同过程如茎的伸长、种子萌发、开花结实等，对不同的赤霉素也表现出不同的敏感性。GA₃（即赤霉酸）具有很高活性，是我国生产上广泛应用的一种。它的纯品为白色结晶，难溶于水，易溶于乙醇、丙酮和酯类。一般植物体内至少有两种或两种以上的赤霉素，不同赤霉素之间可以相互转变。高等植物中的赤霉素主要在未成熟种子、营养芽、幼叶、根尖等部位合成。合成后在体内降解很慢，但易与糖、氨基酸相结合成为结合态，它是赤霉素的一种贮藏形式。赤霉素最突出的作用是刺激茎的伸长生长，特别对遗传上矮化型效果更为显著。此外，还有打破休眠，促进发芽，诱导开花，促进果实生长，诱导 α -淀粉酶、蛋白酶的合成等作用。

【细胞分裂素】又称细胞激动素。简称 CTK。一类植物激素。1955 年美国斯库格等在研究植物组织培养时，发现一种促进细胞分裂

的物质，被命名为激动素（简称 KT）。它的化学名称为 6-糠基氨基嘌呤，纯品为白色固体，能溶于强酸、碱中。激动素在植物体中并不存在。之后，在植物中分离出十几种具有激动素生理活性的物质，另外人工也合成了一些。现把凡具有激动素类似生理活性的物质，不管是天然的还是人工合成的，统称为细胞分裂素。它们的基本结构是有一个 6-氨基嘌呤环。植物体内天然的细胞分裂素有玉米素、二氢玉米素、异戊烯基腺嘌呤、玉米素核苷、异戊烯基腺苷（简称 iPA）等。它们在体内合成的部位主要是根尖。人工合成的细胞分裂素除激动素外，还有 6-苄基氨基嘌呤（简称 6-BA）等。细胞分裂素最明显的生理作用有两种：一是促进细胞分裂和调控其分化。在组织培养中，细胞分裂素和生长素的比例影响着植物器官分化。通常比例高时，有利于芽的分化；比例低时，有利于根的分化（特别对双子叶植物具有较普遍意义）。二是延缓蛋白质和叶绿素的降解，延迟衰老。各种细胞分裂素的活性有差异，例如在促进生长的生物试验中，天然细胞分裂素如玉米素、异戊烯基腺嘌呤比人工合成的细胞分裂素如激动素和 6-苄基氨基嘌呤高，而在延缓叶绿素分解的生物试验中，后者活性比前者高。

【脱落酸】一种植物激素。简称 ABA。曾称脱落素Ⅱ、休眠素，后证实两者为同一物质，1967 年统一命名为脱落酸。它是以异戊二烯为基本单位的倍半萜类化合物，分子式为 $C_{15}H_{20}O_4$ 。纯品为白色结晶，能溶于乙醇，丙酮和碱性溶液（如碳酸氢钠）等。脱落酸最初是从棉铃和槭树叶中分离出的，现已证实它在植物界普遍存在，特别在成熟和衰老的组织中，但幼嫩器官和组织中也有。脱

落酸是植物体内主要的生长抑制物质可抑制胚芽鞘、嫩枝、根及胚轴等营养器官生长。脱落酸可促进树木芽的休眠和抑制其萌发。另一个明显生理作用可引起气孔迅速关闭。植物受干旱时，叶内脱落酸含量大量增加。例如菜豆叶片萎蔫时，叶中脱落酸含量在10分钟内可增加1.5倍。脱落酸增加时，气孔关闭，水分的蒸腾减少。灌水后，脱落酸含量下降，气孔又张开。脱落酸调节气孔的开闭反应是快速和可逆的，因此，脱落酸有调节蒸腾的作用。此外，脱落酸还有促进叶片等器官的衰老和棉花幼果的脱落等作用。

【乙烯】一种植物激素。一种不饱和烃，为无色气体。植物体的各部分（根、茎、叶、花、果、种子等）都能产生乙烯，它的生物合成过程受多种因素调节，如充足的氧气、适当的高温（28-30℃）、超适量的生长素等能促进乙烯生成。当遇到干旱、水涝、冷害等不良条件或受到伤害（机械伤害或病虫害）时，体内乙烯可几倍、几十倍的增加。乙烯最明显的生物效应是能引起三重反应和偏上性反应。乙烯是促进果实等器官成熟衰老的激素，未成熟果实在密封条件下通入乙烯，可催熟果实；采用低温、降低氧浓度、提高二氧化碳浓度的方法来抑制乙烯生成或在容器中抽去乙烯充氮，能推迟果实成熟，延长贮藏时间。乙烯还有促进菠萝开花，增加瓜类雌花的形成率，促进器官脱落，促进次生物质（如橡胶等）排泌等多种生理作用。

【三重反应】黄化豌豆幼苗在含有微量乙烯的空气中，其上胚轴所发生的三种反应：伸长生长受到抑制；横向加粗生长被促进；茎

的负向地性消失，上胚轴向水平方向弯曲。这是典型的乙烯生物效应，可作为乙烯的一种生物鉴定法。这三种反应并不同时表现，根据乙烯浓度的不同，可表现出一或两种。

【植物生长调节剂】又称植物生长调节物质。指那些从外部施加给植物，很微量就能调节、改变植物生长发育的化学试剂。除了植物激素从外部施加给植物作为生长调节剂外，更多的植物生长调节剂是植物体内不存在的人工合成的有机物，主要有：（1）植物激素类似物，例如与生长素有类似生理效能的吲哚丁酸、萘乙酸、2, 4-D 等，与细胞分裂素有类似生理效能的激动素和 6-苄基氨基嘌呤等。（2）生长延缓剂，一些抑制顶端下部区域的细胞分裂和细胞扩张的化合物。能使植物节间缩短，但叶子大小、叶片数目，节的数目和顶端优势相对地不受影响。属于这类化合物有矮壮素（CCC）、丁酰肼（B₉）、Amo-1618 等。生长延缓剂能抑制赤霉素的生物合成，所以具有抗赤霉素的作用，它的作用能被赤霉素恢复。例如施用过量的矮壮素，可喷施赤霉素来解救，使植物恢复正常。（3）生长抑制剂，也具有延缓生长效果的化合物。与生长延缓剂不同，它们主要干扰顶端分生组织的细胞分裂，破坏顶端优势，使侧枝增加。它的作用不能被赤霉素恢复。属于这类化合物有青鲜素（MH）、二凯古拉酸钠等。（4）生长素传导抑制剂，阻碍体内生长素的运输，因而影响植物的生长发育。属于这类的化合物有三碘苯甲酸（TIBA）和整形素。（5）乙烯合成抑制剂，抑制乙烯的生成，从而调节植物的生理过程。例如氨基乙氧基乙烯基甘氨酸（AVG）、氨基氧乙酸（AOA）等，用于防止脱落、延

迟成熟和衰老。另外，除草剂也是一大类生长调节剂，有的可作为脱叶剂、杀雄剂等。植物生长调节剂在农业生产上可分别用在促进或抑制植物的营养生长，促进或抑制种子、块根、块茎的发芽，防止或促进器官的脱落，促进生根、座果和果实发育，诱导和调节开花，控制性别分化，催熟或延迟成熟和衰老，以及杀死田间杂草等方面。植物生长调节剂因种类、浓度不同以及因植物器官种类和细胞年龄的不同，其生理效应有很大差别，只有正确认识这些物质的作用，并且施用得当，才能收到预期的效果。

【矮壮素】一种植物生长调节剂。简称 CCC。化学名为 2-氯乙基三甲基氯化铵。纯品为白色菱状结晶。工业产品有鱼腥气味，吸湿性强，易溶于水。国产的矮壮素一般为 40% 或 50% 的棕色水剂。它能抑制赤霉素的生物合成，其作用常表现与赤霉素相反。可使茎节间缩短，茎变粗，叶色加深，植株矮壮。农业生产上用来防止小麦、棉花等作物徒长，以控制小麦的倒伏和棉花的蕾铃脱落。可与乐果等混用，但不能与碱性农药混用。

【乙烯利】一种植物生长调节剂。化学名称 2-氯乙基膦酸，分子式为 $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{PO}(\text{OH})_2$ 。纯品为无色针状结晶，极易吸潮，易溶于水。乙烯利水溶液呈强酸性，在常温 pH3 以下比较稳定，在 pH4 以上就开始逐渐分解，释放出乙烯。一般植物组织中的细胞液的 pH 均在 4 以上，乙烯利进入植物体后，能缓慢分解释放乙烯。由于乙烯在常温下是气体，在农业生产上应用很不方便，目前人们已合成了多种乙烯释放剂，乙烯利是广泛应用的一种。用乙烯利

配成的水溶液进行喷洒或浸泡比使用乙烯方便得多。目前已应用在水果（如香蕉、番茄等）和棉铃的催熟，以提高果实的商品价值和棉花霜前的收获量。

植物体内有机物的转化

【乙醛酸循环】在植物和一些微生物体内，乙酰辅酶 A 的乙酰单位转变为琥珀酸的过程。它在乙醛酸体内进行。乙醛酸体又称乙醛酸循环体，属于微体，由单层膜包被、直径很小的细胞器，存在于富含脂类的种子的贮藏组织中。它含有脂肪酸 β -氧化酶系统及乙醛酸循环所需的酶。由图可见：脂肪酸经 β -氧化形成的乙酰辅酶 A 在两处进入乙醛酸循环；异柠檬酸裂解酶和苹果酸合成酶是乙醛酸体所特有的酶，是乙醛酸循环的关键酶；这循环的总反应是消耗 2 分子乙酰辅酶 A，生成 1 分子琥珀酸。琥珀酸被运至线粒体中，转变为苹果酸，后者在细胞质中基本上通过糖酵解的逆转而形成蔗糖。乙醛酸循环是脂肪酸转变为糖的必经之路。植物种子（特别是油料种子）萌发时，乙醛酸循环进行得十分活跃，这样可将种子中贮藏的脂肪（三酰基甘油）降解生成的脂肪酸转变为糖，运往胚，用作胚生长所需的碳源和能源。

乙醛酸循环示意图

1. 柠檬酸合成酶 2. 乌头酸酶 3. 异柠檬酸裂解酶
4. 苹果酸合成酶 5. 苹果酸脱氢酶

【果胶物质】又称果胶质。一类主要由半乳糖醛酸形成的类似多糖的化合物。是初生细胞壁的成分之一，细胞中胶层的主要成分，也存在于某些植物的汁液中。果胶物质是一笼统的名称，包括果胶酸、果胶和原果胶三类物质。果胶酸是分子量最小的一类果胶物质，只有约 100 个半乳糖醛酸单位通过 α -1, 4 苷键连接形成的长链。可溶于水，不能形成胶冻。果胶的分子量较大，约含有 200 个半乳糖醛酸单位，其大多数羧基被甲基酯化。可溶于热水及形成胶冻。原果胶是不溶于水的果胶物质，其分子量大于果胶，但其羧基被甲基酯化的程度比果胶小。没有甲基化的自由羧基可通过两价金属离子（如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）与磷酸交联起来。原果胶常存在于中胶层中，它的作用是使细胞粘合在一起形成组织。

【果胶酶】催化果胶物质降解的酶的统称。其中有催化果胶物质中

甲酯水解的果胶（甲）酯酶和切断半乳糖醛酸单位之间的 α -1, 4 苷键的多聚半乳糖醛酸酶。它们常存在于微生物中。植物致病的细菌和霉菌利用这两种酶去分解植物细胞壁的物质，从而侵入细胞。另外，高等植物种子萌发时，也有这种降解果胶质的酶协助幼苗突破种皮。果实成熟时，在果胶酶的作用下，果胶物质从不溶性转变为可溶性，使果肉细胞彼此分离，果肉就变得松软。叶柄的离层中也有果胶酶，能分解中胶层的果胶物质，使细胞互相分离，叶片就脱落。果胶酶制品在食品工业中用于增加果汁产率，澄清果汁；纺织工业中用于麻的脱胶。

【半纤维素】可溶于稀碱溶液多糖的总称，是植物细胞壁的主要成分之一。较纤维素易被水解。在化学上与纤维素无关，纤维素是由 β -D-葡萄糖聚合而成的多糖，而半纤维素是由一些不同糖（如木糖、阿拉伯糖、甘露糖等）和糖醛酸（如葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸等）组成的杂多糖。不同植物，不同细胞中组成半纤维素的单糖成分和比例不同。例如双子叶植物的半纤维素主要含有木糖和葡萄糖，还有极少量的其他单糖成分。半纤维素大量存在于植物的茎秆、种子、果壳等部分。除在某些情况下（如种子萌发时）可以部分分解重新利用外，一般不能作为植物的营养物质。工业上用途很广。

【次生物质】一些来源于植物的天然产物，是由糖、脂肪、氨基酸等衍生而来的有机物。其合成过程属于通常所说的次级代谢，因此，又称为次生代谢物。这类物质的种类繁多，其中最重要的有类萜、酚类和生物碱三类。糖、脂肪、氨基酸、蛋白质等主要有机物普遍存在于所有植物中，但不是所有的次生物质都普遍存在

于所有的植物体内。有很多种次生物质在植物生命活动中起重要作用，如类萜中的赤霉素、脱落酸、类胡萝卜素；酚类中的木质素、花色素；生物碱中的嘌呤碱、嘧啶碱等。但也有很多种对产生它们的植物本身究竟有什么作用，还不清楚，如松香、单宁、橡胶、烟碱等。许多次生物质是工业和药物生产上的重要原料。

【生物碱】种类极为繁多的一类含氮次生物质。一般具有碱性。大多存在于植物体中，个别存在于动物体中，因此亦称为植物碱。含有生物碱的植物最多见于罂粟科，其次在防己科，小檗科、茄科、茜草科等亦多见。生物碱根据其分子结构和来源可分为三类。

- (1) 真生物碱，有一含氮杂环，而且是由氨基酸衍生而来，例如嘌呤碱、嘧啶碱、烟碱等。通常所说的生物碱大多数是真生物碱。
- (2) 原生物碱，芳香族的胺类，来源于苯丙氨酸、酪氨酸。与真生物碱不同，它的氮不存在于环内，如麻黄碱、胆碱等。
- (3) 假生物碱，有含氮杂环，但不是由氨基酸衍生而来，如类萜生物碱、甾类生物碱。生物碱在生理上有一定作用，例如胆碱是卵磷脂的重要成分，卵磷脂参与生物膜的形成。嘌呤碱和嘧啶碱是核酸的组成成分（虽然不是先形成生物碱再进入核酸）。但大多数生物碱对产生它们的植物本身的生理意义不很清楚。有人认为某些生物碱对动物有害或不适口，可保护植物使免受害虫、害兽的侵袭。许多生物碱是重要药物的有效成分，如奎宁、利血平、吗啡、麻黄碱等，所以在医药上甚为重要。

【类萜】又称萜类化合物。由异戊二烯单位组成的链状或环状有机化合物，通式为 $(C_5H_8)_n$ 是广泛存在于植物界中的一类次生物质。根据分子中异戊二烯单位的数目 (N)，类萜可分为单萜 ($N=2$)、

倍半萜 ($N=3$)、双萜 ($N=4$)、三萜 ($N=6$)、四萜 ($N=8$) 和多萜 ($N>8$)。有的类萜化合物在植物生活中有重要作用。例如,挥发油(多是单萜和倍半萜)引诱昆虫传粉或驱避动物侵袭;树脂(其成分主要是倍半萜、双萜和三萜)有保护伤口,防止病菌感染的作用;胡萝卜素和叶黄素(四萜的衍生物)能吸收光能,用于光合作用。另外,质体醌和赤霉素是由萜的结构和其他结构形成的混合萜,参与光合作用和生长发育的调控。许多类萜是重要的药材和工业原料。例如,肾上腺皮质激素、维生素 D、辅酶等都是植物的固醇(三萜)为原料制成;橡胶是由 3000—4000 个异戊二烯单位组成的多萜。

【木质素】一类以苯丙烷的衍生物为基本单位的高分子聚合物。它的化学结构还不太清楚,基本上都含有松柏醇、芥子醇和对-香豆醇三种芳香醇。因植物种类和年龄不同,三种成分的相对量变化很大。例如针叶树的木质素主要含有松柏醇,还有一些对-香豆醇和芥子醇;山毛榉木质素中,松柏醇和芥子醇的量相近,而对-香豆醇的量很少;单子叶植物,特别是禾本科植物的木质素则含有大量的对-香豆醇。木质素广泛分布于苔藓类以上的植物界,它在地球上的数量仅次于纤维素,居有机物的第二位。是木质化组织所特有的物质,大量存在于植物木质化组织的细胞壁内,填充纤维素的间隙,从而加强了细胞壁耐受压力的强度,使植物机械强度提高。正是木质素使植物能够从水中登陆。木质素可被间苯三酚和盐酸染成鲜明的红色。

【花色素】又称花青素。一种水溶性的植物色素。从广义上看,属于黄酮类化合物。存在于液泡的细胞液中。花色素不但含于花中,

亦含于根（如红萝卜）、叶（如紫苏、红叶）、果皮（如葡萄、茄子）及种皮（如黑豆）等部分中。花色素的种类甚多，但具有相同的基本骨架。各种花色素结构的差异就是 B 环的取代物。常根据最先分离得到它们的植物名称来命名。花色素的颜色因酸碱度不同而异，在酸性条件下呈红色，在碱性条件下为蓝色（至少在试管中是这样）。辣椒的果皮、藏红花雌蕊等红色由类胡萝卜素所致，在酸或碱的作用下不变色，因此可与花色素区别。花色素在植物中常以糖苷形式存在，叫花色（素）苷或花青（素）苷。花色苷的形成似乎和植物组织中糖的积累有关，一些有利于植物组织内含糖量增加的环境因子（如强光照、低温、干旱、缺氮、缺磷），往往也有利于花色苷的合成。

植物的生长和运动

【种子萌发】通过休眠的具有发芽能力的种子，在适宜外界条件下，从静止状态转变为活跃状态，幼胚恢复生长，胚的一部分突破种皮向外伸展的现象。实践中，通常以胚根或胚芽达到一定长度作为萌发的标准。萌发时，多数情况是先出胚根，水稻在淹水条件下先长胚芽。从生理学角度来说，种子萌发包括吸水、代谢重新活跃和幼胚开始生长的整个过程。由于成熟种子的组织高度脱水，种子内代谢活性显著受到抑制，所以水是限制种子萌发的首要因素。不同作物的种子萌发时有不同的吸水临界值，低于这个值不能萌发。如小麦为风干种子重的 60%，大豆为 120%。因为萌发过程中进行着活跃的代谢和胚的生长，所以一定的温度和氧气也

是萌发不可少的外界条件。

【种子活力】种子的健壮度。不同于生活力。后者是单指种子发芽潜力，即用快速测定发芽力的指标。种子活力不是一项单一的质量指标，而是种子一些性状的综合，包括种子发芽速率、出苗速率，幼苗的生长势及植株的抗逆力和生产潜力等。有的种子虽有发芽力但活力很低，表现在萌发迟缓、不整齐，抗逆力弱，弱苗和不正常苗增多，因而减产。而活力高的种子不但发芽率、出苗率高，而且幼苗有很强的生长力，抗逆力强，有利于增加单产。因此种子活力是检验种子品质的重要内容之一，是衡量种子播种品质优劣更为重要的一个方面。

【植物的生长】指植物体不可逆的增长过程，是由于细胞的增殖或细胞体积扩大以及内含物质积累而引起的植物体体积、重量和细胞数目等方面的数量的增加。生长是一个需要能量，并需要有合成物质为基础的复杂生理过程，只有当同化作用超过异化作用时，机体的体积和干重才能不断增加。植物的生长和动物的不同，这种不同在种子植物与脊椎动物之间尤为明显。脊椎动物出生后，各种器官已大体具备，它的生长主要是已有器官在体积与重量上的增长，一般不再产生新的器官。而且动物的生长部位遍及全身各器官，但生长时间有一定限度，躯体和器官长到一定程度时，就不再增长。而植物在种子萌发后，先形成根、茎、叶等营养器官，以后才分化出花芽形成生殖器官。它的生长局限在一定部位，主要是在根和茎的顶端，所以植物主要是顶端生长。此外，还有裸子植物和双子叶植物的根和茎形成层的加粗生长和某些单子叶植物节间和叶子基部的居间分生生长等。植物的生长部位在整个植

株中通常只占一小部分，但生长时间几乎是无限的。植物的顶端生长在一生中都在进行，百年甚至千年的老树每年不断长出新的枝叶。一些一次开花的植物（例如小麦）当主茎顶端分生组织进行穗分化时，就不再形成新叶，但分蘖的新叶还能形成，甚至有新的分蘖发生；抽穗后营养体的生长停止，但穗和其中的籽粒还在不断生长。植物的生长受环境因子的影响比动物大得多，植物最后的植株大小和器官数目，常因环境条件而不同。

【生长大周期】整株植物或个别器官的全部生长过程中，生长速率都表现出“慢—快—慢”的基本规律，即开始生长缓慢，以后逐渐加快，达到最高点后，又逐渐减慢，以至停止。植物生长的这三个阶段总合起来称为生长大周期。如果以生长量（高度、重量或体积）对时间作图，整个进程呈“S”形曲线。器官生长速率表现出生长大周期的原因，可从细胞的生长情况分析。器官生长初期，以细胞分裂为主。由于细胞分裂是以原生质量的增多为基础，而原生质的合成进行较慢，所以这时期生长缓慢。当细胞以伸长生长为主时，由于这时期主要靠吸收水分来增加体积，所以生长很快。当细胞伸长达到最高速率后，就逐渐减慢，最后停止。整株植物生长大周期产生原因不能简单地从细胞生长情况分析。初期生长缓慢，是因为植株幼小，光合面积小，根系不发达，合成干物质的量少。之后，随着光合面积的迅速扩大和庞大根系的建立，合成的干物质急剧增加，生长加快。再后，因植株渐趋衰老，光合速率减弱，有机物质合成减少，因此，生长又减慢，以至停止。了解生长大周期，有重要的实践意义。由于植物生长进程是不可逆的，因此必须在植株或器官生长最高速率到来之前，及时采取措施，加以促进或抑制，才能有效地控制植株或器官的大

小。另外，由于同一植株的不同器官，生长大周期出现的时间可能不同，因此，在控制某个器官生长时，必须考虑对其他器官的影响。

【植物生长的相关性】高等植物是多器官的有机体，各器官有一定的分工，但整个植物有机体是统一整体。植物体各部分的生长，不是孤立的，而且密切联系的，它们之间既相互促进，又相互制约，这种相互关系称为生长的相关性。主要表现在：根和地上部分（茎、叶）、主茎和分枝、营养器官和生殖器官的生长相关上。例如，地上部分生长所需的水分和矿质元素主要由根供应，而且根还可合成细胞分裂素等供应地上部。而根生活、生长所需的碳水化合物和维生素（如维生素 B₁）均由地上部供应。因此，根和地上部分（茎、叶）的生长有相互依赖、相互促进的关系。所谓“根深叶茂”、“本固枝荣”就是这个道理。但由于根和地上部分所处的环境不同。二者生长对条件要求不完全一样，因此，不同条件对二者生长的影响也不相同。例如水分较少、氮供应适量、磷充足、强光照、较低的温度等条件，有利于根的生长，而对地上部分相对会受到抑制；相反，水分较多、氮过多、高温、光照较弱等条件，相对来说，有利于地上部分生长而不利于根的生长。因此，根和地上部分的生长也有相互抑制的关系。植物生长的相关性主要与体内营养物质和激素的转运和分配有关。农业生产上，根据植物生长的相关性，采取适当措施，调节植物体各部分之间的关系，使植物的生长向着有利于人们所需的方向发展。

【顶端优势】通常植物主茎的顶端生长很快，侧芽生长很慢或潜伏不长，这种主茎顶端生长占优势，阻止侧芽萌发或抑制侧枝生长

的现象称为顶端优势。这现象普遍存在于植物界，但不同植物差异很大。向日葵有很强的顶端优势，其侧芽一生中都处于潜伏状态；稻、麦顶端优势较弱，能长出许多分蘖；灌木顶端优势极弱，几乎没有主茎与分枝的区别。顶端优势的强弱也因植物年龄、营养状况以及环境条件的变化而有差异。顶端优势产生的原因，尚没有太完满的理论。最早提出的是“营养”学说，认为顶端分生组织在胚中已形成，因而它可先于后期形成的侧芽分生组织利用营养物质，优先生长；侧芽则由于得不到充足的营养而受抑制。生长素发现以后，又提出“激素”学说，认为顶端优势现象主要与生长素有关。由于芽对生长素比茎要敏感得多，对茎促进的浓度对芽就抑制了，因此，茎尖（顶芽）产生的生长素极性运输到侧芽时，就会抑制侧芽的生长。其实验依据是：除去顶端，侧芽很快生长，如去顶后在切口处涂上含有生长素的羊毛脂，侧芽不能生长，即外施生长素能代替顶芽对侧芽的抑制作用。后来有人在羽扇豆等植物上发现，在受顶端抑制的侧芽中，生长素的含量比侧芽生长所需的最适浓度要低得多。有人发现，外施细胞分裂素给受抑制的侧芽，侧芽就能生长（即顶端优势解除），故认为侧芽被抑制的原因是由于它们没有足够的细胞分裂素。细胞分裂素是在根中合成的，而顶芽产生的生长素的作用，可能控制细胞分裂素的运输，由于顶芽的生长素浓度高，成为输入物质的库，比侧芽优先得到细胞分裂素，侧芽因生长素浓度低，得不到足够的细胞分裂素，所以生长受抑制。此外，发现赤霉素、乙烯、脱落酸与顶端优势也有关。所以顶端优势可能是受体内多种激素平衡的调节。很多植物主根与侧根的关系也和茎相似，主根生长旺盛，使侧根生长受到抑制，去掉主根的尖端，也可促进侧根的生长。农业生产上常用打顶的办法去除顶端优势，以促进侧枝生长。例如

棉花整枝摘心，可减轻枝叶徒长，使营养物质向果枝集聚，减少蕾铃脱落，提高产量。蔬菜等作物的育苗移栽措施，由于切断主根，可使侧根迅速生长，根系发达。但对有些作物（如向日葵、麻类等）保持其顶端优势，可以提高产量和品质。

【温周期现象】植物生长发育对温度周期性变化的要求或反应。在自然条件下，温度有昼高、夜低，春夏较高、秋冬较低的周期性变化。由于植物长期生活这样的条件下，所以它们不仅对环境中的温度变化有一定的适应性，而且它们的正常生长发育也要求这种昼夜的和季节性的温度周期性变化。例如番茄（一种喜温植物）在昼夜恒温（ 26°C ）条件下，不如在白天 26°C 夜晚 17°C 条件下生长快。这是因为生长要有合成物质为基础，白天温度较高有利于光合作用，夜间温度较低可降低呼吸作用，减少有机物的消耗，因此植株净积累增多，而且较低的夜温有利于根的生长和细胞分裂素类的合成，因而促进了整株植物的生长。又如许多温带的植物为了正常的发育要求一个高-低-高的温度周期。二年生植物甜菜如果每天在白天 23°C 、夜晚 17°C 条件下，保持营养生长3—4年而不开花，因为它们的花的发端，必须经过一个低温时期，进行春化作用。

【黄化现象】植物因缺光呈黄白色，茎节间伸长快，输导组织、机械组织不发达，叶片不舒展的现象。在黑暗中生长的幼苗，因不能合成叶绿素，呈现出类胡萝卜素的黄色。它的茎细软、节间很长，叶小不展开，双子叶植物茎顶端呈钩状弯曲。这些形态特征是植物对环境的一种巧妙适应，对幼苗尽快顺利钻出土面十分有利。因为植物在暗处进行异养生活，在土层下（暗处）萌发的种

子或其他延存器官,将有限的贮存营养物质集中供应茎的伸长,可使幼苗很快出土见光进行光合作用。短时间低强度的光照就能消除幼苗的黄化现象,使植物形态恢复正常。这种光对形态建成的直接作用与植物体内光敏色素有关。蔬菜栽培中用遮光使植物黄化,可生产柔嫩多汁的韭黄和蒜黄等。大田作物(如稻、麦)群体过密时,由于茎叶相互遮荫,植株基部缺光,茎秆长得细长,机械组织不发达,易倒伏。

【光敏色素】又称光敏素。一种感受光信号刺激进而调节植物生长发育的蛋白色素,由蛋白质和生色团两部分组成。生色团由四个吡咯环组成的直链分子,以共价键与蛋白质部分相连。它有两种主要形式:一种在红光区对 660 纳米的光具有最大吸收值,称为“红光吸收型”,以 p_r 表示;另一种在远红光区对 730 纳米的光具有最大吸收值,称为远红光吸收型,以 p_{fr} 表示。 p_r 是这种色素的生理钝化型; p_{fr} 是生理活跃型。 p_r 在细胞内以一定速度合成,它比较稳定。 p_r 吸收红光后转变为 p_{fr} , p_{fr} 吸收远红光后又逆转为 p_r 。 p_{fr} 在暗中可缓慢地转变为 p_r (称为暗逆转),还会衰败,失去活性。光敏色素除真菌外,在藻类、地衣、苔藓、蕨类、裸子植物、被子植物中普遍存在。在高等植物的各种器官中分布也极广泛。在自然条件下,白天由于日光照射,植物组织内 p_{fr} 占优势(因为日光中含有的红光比远红光多), p_{fr}/p_r 比值高,夜晚 p_{fr}/p_r 比值低。现已发现有上百种植物的生理生化过程是受光敏色素调控的,如植物茎叶伸长、子叶扩展、种子萌发、芽休眠、叶子的脱落、花芽分化、块根块茎的形成、合欢等豆科植物的小叶开合等;此外还参与调节膜的性质、叶绿素和花色素的合成以及 60 余种酶的活动等。

【近似昼夜节奏】植物一些生理活动有不依赖于环境刺激的内生的昼夜节奏，例如菜豆的初生叶的昼夜运动（白天叶片呈接近水平状态，夜晚则下垂），在稳恒条件下（连续的光照或连续黑暗条件）下，这种运动在一段时间内仍能继续进行。由于外界条件是稳恒的，因此认为产生这种周期性节奏的因素在体内，好象植物体内有某种内生的计时系统，按时发生反应。实验证明：在稳恒条件下，内生节奏的周期不是准确的 24 小时，而是在 22—28 小时之间，因此这种不依赖于外界昼夜变化的内生节奏称为近似昼夜节奏。在自然条件下，植物能通过感受外界环境周期性的变化，如昼夜光、暗交替，调节本身生理节奏，使之与外界环境的 24 小时光周期同步。近似昼夜节奏在生物界中广泛存在，由单细胞生物到多细胞生物，直至高等植物、动物和人类都有。在植物界中除了上述菜豆叶昼夜运动外，还有小球藻的细胞分裂、植物的气孔开闭、蒸腾作用、伤流液的流量以及其中氨基酸的浓度和成分等都有昼夜周期性变化。此外，还观察到在稳恒条件下很多植物的代谢速率如呼吸、光合等也有起伏的变化。植物的这种内生节奏可看做是植物对时间条件的适应性，使植物的生理活动和生长发育进程与昼夜或季节的周期变化在时间上密切配合。例如植物白天光合节奏高、夜晚低，正好与自然界昼夜交替同步。

【休眠（植物）】植物个体发育过程中，生长暂时停顿的现象。由于外界条件不适宜，而使生长暂时停滞，称为强迫休眠。外界条件完全适宜，由于内部原因引起的休眠，称为深休眠。通常说的休眠是指后一种。前者有人称为“静止”。休眠对植物的生存有适应意义。暴露在自然条件下的大多数植物都要经历季节性不良气

候（如严寒、过分干热）时期。在许多情况下，植物以休眠状态来忍受不良环境条件。例如一年生植物常形成休眠种子，多年生植物形成休眠芽。休眠组织抗逆性最强，可以度过活跃生长组织所不能忍受的逆境。例如干种子可以耐受 -234°C 的低温；一些木本植物在冬季休眠时能忍受 -30°C 甚至 -40°C 的低温，但在夏季生长时，如人为给予 -2°C 、 -3°C 低温，就会使其枝条死亡。

【植物组织培养】又称植物离体培养。植物离体部分（如器官、组织、细胞或原生质体）在人工控制的条件下，得以生存、生长和分化的一种无菌培养技术。通常包括所有类型的植物无菌培养技术，如幼苗及植株的培养；离体的根、茎、叶、花、果的器官培养；胚胎培养；愈伤组织培养；悬浮培养；原生质体培养等。植物组织培养是20世纪发展起来的一门新技术。它的优点是：可在人为提供的温度、光照、营养、激素等条件下，在不受植物体其他部分干扰和影响下，研究被培养部分的各种生物学特性。在完整植物体中，每个器官、组织或细胞均受到整个植物其他器官、相邻组织或周围细胞相互影响，相互制约。因此，用原体植物来研究细胞分裂、伸长、脱分化和再分化以及器官发生等的机理、所需的环境条件及其内在的生理生化变化就较为困难。而组织培养技术，由于被培养的部分离开了整体，不受植物体其他部分的干扰和影响，因此它可用于研究许多在整体条件下难以研究的问题，例如植物细胞全能性学说的确证，主要是通过组织培养手段来实现的。植物组织培养技术不仅是植物科学基本理论研究方面的一个重要手段，而且在实际应用研究方面也日益显示出它的巨大潜力。

【植物细胞全能性】植物体的每个活细胞具有发育成一完整个体的潜在能力。也即说，植物体的每个细胞都具有该植物的全部遗传信息（基因），在适当的内、外条件下，一个细胞有可能形成一完整的新个体。在植物的生长发育中，从一个受精卵可产生具有完整形态和结构机能的植株，这就是全能性，是该受精卵具有该物种全部遗传信息的表现。同样，植物的体细胞是从合子有丝分裂产生的，也应具有象合子一样的全能性。但在完整植株上某部分的体细胞只表现特定的形态和局部的功能，这是由于它们在植株上受到具体器官或组织所在环境的束缚的缘故，但细胞内固有的遗传信息并没有丧失，因此一旦离开了整体后，例如在植物组织培养中，由于被培养的细胞、组织或器官离开了整体，再加上切伤的作用以及培养基中激素等的影响，就可能表现全能性，生长发育成完整的植株。本世纪 50 年代美国斯图尔德等用悬浮培养法由胡萝卜根的韧皮部细胞诱导出完整植株，第一次用实验方法证明了植物体细胞具有全能性。植物细胞全能性是高等植物细胞的显著特点。是植物组织培养的理论依据。

【外植体】从植物体上分离的器官、组织片段或一团细胞，在无菌条件下，接种在人工配制的培养基上进行体外培养的过程称为外植。用于离体培养的那部分植物材料（离体器官、组织切段或细胞）称为外植体。当进行继代培养将培养组织切开移入新的培养基时，这样的一种切段（或分离的部分）也称之为外植体。外植体常用于无性繁殖，生产“试管植物”。

【脱分化和再分化】已分化的细胞在一定因素作用下，失去它原有的结构和功能，重新恢复分裂机能，称为脱分化或去分化。细胞

脱分化的结果，通常形成愈伤组织。脱分化的细胞可以再分化。再分化指离体培养的植物组织和细胞，在一定条件下，可由脱分化状态再度分化出不同类型的细胞、组织、器官，甚至再生成完整的植株。植物组织培养中，可经过器官发生形成根、芽，进而形成完整的植株；或通过诱导胚状体发生途径再生植株。

【愈伤组织】又称创伤组织。植物体的局部受创伤刺激，在其伤口表面新生的组织。其作用可在创伤部位，使伤口愈合；在嫁接中，促使砧木与接穗愈合，并由新生的维管组织使它们沟通；在扦插中，由伤处愈伤组织分化出不定根或不定芽，进而形成完整的植株。在植物组织培养中，从外植体增殖而形成的一种无特定形态结构和功能的细胞团也称为愈伤组织。主要考虑到它的起源可能与细胞或组织分离时所受到的损伤刺激而增殖有关。其实创伤刺激只是促使细胞增殖的原因之一，而且可能并不是主要原因。从完整植株分离出来的外植体，由于不再受整体的控制，以及供给合适的营养和生长调节物质，可能是导致细胞增殖的决定性因素。愈伤组织通常是由许多异质细胞集合而成的集聚体。生长旺盛的愈伤组织含有高比例的类似薄壁组织的液泡化的细胞和许多局部分布的较小的类似分生组织状的细胞群。植物组织培养中产生的愈伤组织，在一定培养条件下，可进一步诱导形成植株。

【胚状体】由植物的非合子细胞产生的一种类似于合子胚的结构。其形态发生过程与合子胚相似，也经过原胚、球形胚、心形胚、鱼雷形胚、成熟胚的发育程序。组织培养中胚状体的发生是以离体组织或细胞的脱分化开始的。胚状体可直接从起动细胞发育而成，也可由愈伤组织再分化形成。胚状体具有两极性，因此一旦形成，

即可长成小植株。另外它与母体没有维管束联系，很容易从外植体或愈伤组织脱离开。通过诱导胚状体发生途径再生植株，有产生植株多、速度快和结构完整等优点。

【植物运动】所有植物都具有运动能力，有的低等植物如团藻等可以整体转动。高等植物虽不能自由地移动整体的位置，但个别器官或个别部位在某种因素影响下，可以在空间发生有限度的位置移动。植物运动是适应环境的一种形式，也是对环境刺激起感应性的表现。根据它与生长的关系可分为生长运动（与生长有关）和紧张运动（与生长无关）；根据外界因素如何作用于植物，又可分为向性运动和感性运动。

【生长运动】由于外界因素的刺激，使正在生长的植物器官的不同部位在生长速率上表现不同而引起的运动。例如根尖、茎尖的转头运动，叶的向光运动，根的正向地性运动和茎的负向地性运动以及花的感夜开放等。向性运动的全部和感性运动的一部分都是生长运动。生长运动使植物新长出的部分在空间的分布和姿态能适应其营养的需要。例如茎的负向地性和叶的向光性运动能使芽破土而出，将植物的光合作用面积朝向阳光，有效地捕获光能；根的正向地性运动使根在水分和矿质养料丰富的区域生长，有利于吸收水分和养料，并起着使植物地上部固定的作用。

【紧张运动】由于植物细胞紧张度（膨压）改变所引起的非生长性运动。例如含羞草小叶合拢、复叶叶柄下垂，气孔的开闭就是分别通过叶柄基部的叶枕（也称“叶褥”）组织和保卫细胞紧张度变化而发生的，因而都是紧张运动。叶枕和保卫细胞在结构上不对

称。当细胞膨压改变时，器官或细胞两侧收缩程度不等，因而形状发生变化。例如含羞草的复叶叶柄基部的叶枕，下半部组织细胞的细胞壁比上半部的薄，细胞间隙比上半部的大，当受到刺激后，下半部细胞的透性迅速增大，细胞液流到细胞间隙，细胞膨压减少，紧张度下降，组织疲软；而上半部细胞仍保持紧张状态，所以复叶叶柄即由叶枕处弯曲，产生下垂运动。小叶叶枕的上半部和下半部组织中细胞构造，正好与复叶叶柄基部叶枕的相反，因此当受到刺激，细胞紧张度改变时，小叶就成对合拢起来。

【向性运动】植物对单方向（或有方向）的外界刺激所引起的定向生长运动。它产生的基础是器官两侧不同的生长速率，所以向性运动都是生长运动。发生反应的部位是正在生长的区域，如切去生长区或已停止生长的器官都不表现向性运动。它运动的方向与刺激方向有关，可与刺激方向相同、相反或与之成一特殊的角度。凡运动方向朝向刺激的来源的为正向性；背离刺激来源的为负向性。根据刺激的种类可分为向光性、向重力性（向地性）、向水性、向化性等。向光性是单方向光所引起的定向生长运动。以暗处或室内生长的植物反应最显著。短波蓝紫光所引起的向光性反应最强。植株地上部（茎和叶片）由于有正向光性的特点，使它能尽量处于最适宜利用光能的位置。向重力性是由于地心引力（重力）单方向刺激所引起的定向生长运动。它是植物有益的适应性。种子播种在土中，不管其胚的方向如何，根总是向地而生，茎则背地而长。向水性是由于土壤或空气中湿度梯度引起的生长运动。例如根的正向水性，有助于根不断占据土壤中较湿的区域。向化性是由于化学物质分布不均所引起的生长运动。例如花粉管向胚囊的定向生长，根的朝营养物质较多的区域生长。有人认为向水

性和向化性可能只是在水分和养料含量较高处，根系分枝与生长较为旺盛，造成根系方向性的不均匀分布，并不是真正的向性。

【感性运动】由环境因子强度改变的刺激所引起的、反应方向与刺激方向无关的运动。它和向性运动不同，外界因素是均匀作用于植物，而不是单方向作用于植物。感性运动一部分属于生长运动，另一部分是由膨压改变而引起的紧张运动。发生感性运动的器官多半是具有上下表面对称构造的，如叶、花瓣。感性运动有感夜性、感震性等。感夜性是由于感受夜晚来临时温度或光照强度改变的刺激而引起的运动。其中，有些植物的花，例如郁金香在温度上升时，花瓣上表面（花瓣的内侧）生长快，花就开放；温度下降时，花瓣下表面（外侧）生长快，花就闭合。蒲公英花序的昼开夜合是由光强变换引起的。另外，有些豆科植物（花生、合欢等）的叶也有感夜运动，在晚上小叶合拢，白天则打开。是由于叶枕细胞膨压改变引起的。感震性是由于震动的机械刺激而引起的运动。例如含羞草受震动后，小叶成对合拢，如刺激较强时，可以传导到其他部位，使全株小叶合拢，叶柄下垂。也是因叶枕膨压发生改变而引起的。

植物的生殖和衰老

【花的发端】包括茎端分生组织分化形成可辨认的花原基，以及为形成花原基需要而在它之前进行的一切反应。花的发端是植物生活史上一个重大的转折点，它意味着植物从营养生长转变为生殖

生长。这种转变只能发生在植物一生的某一时刻，即植物必须达到花熟状态时，才能在适宜的外界环境条件下进行。影响花发端的主要环境因素是光周期和温度。许多植物必须经过一段时期适宜的光周期才能进行花的发端或促进花的发端。一些冬性一年生植物、二年生植物和多年生草木植物的花的发端需要经过一定时期的低温。

【花熟状态】植物必须进行一定程度的营养生长，即必须达到一定年龄或生理状态，才能在适宜的环境条件下形成花。植物能对形成花所需环境条件起反应而必须达到的某种生理状态称为花熟状态。没有达到花熟状态之前，即使满足植物形成花所需的条件，也不能形成花。植物达到花熟状态之前的时期称为幼年期。幼年期的长短，在不同种类的植物之间差异很大。木本植物具有较长的幼年期，例如果树一般为 3—15 年；某些森林树种可长达 30—40 年或更长；而草本植物通常较短，例如抱子甘蓝为 11 周，日本牵牛在萌发的第二天（相当于子叶完全展开时），就能对适宜的日照长度起反应而形成花，但不能在萌发的当天。植物达到花熟状态如遇不到适宜环境条件，则往往停留在营养生长状态不能形成花。因此，适宜的环境条件是形成花的重要外因。

【光周期现象】植物对白昼和黑夜相对长度的反应。1920 年美国的加纳尔和阿拉尔特发现，植物开花受光周期（即一天中白昼和黑夜的相对长度）控制。现已知光周期不仅与植物的开花有关，还与树木的秋季落叶、芽的休眠、花色素的形成以及块根块茎的形成等过程有关。甚至对一些动物的行为（例如鸟类的迁徙、鱼的迴游、昆虫的变态、休眠等现象）也有影响。根据植物开花对光

周期反应的不同，可分为长日植物、短日植物及日中性植物三种主要类型。

【长日植物】简写 LDP。在日照长度大于或等于临界日长条件下开花或促进开花的植物。例如小麦、大麦、菠菜、白菜、萝卜、甘蓝、天仙子等。这类植物在自然条件下，一般在日照长度由短变长的春末夏初季节开花。在长日植物中有些对一定日（照）长（度）要求是绝对的（严格的），它们的开花需要一个最低的极限日长（临界日长），在比临界日长更短的日照下不能开花。例如菠菜的临界日长为 13 小时，它至少得到 13 小时的光照才能开花，短于 13 小时，不能开花，这样的植物称为绝对长日植物；另有一些对日长要求不那么绝对，它们在不适宜的日长（即小于临界日长）条件下，最终也能开花，但在适宜的日长条件下可促进开花，这样的植物称为相对长日植物。由于在光周期诱导开花中起主要作用的是每天黑夜的长度。长日植物在短于或等于临界夜长条件下开花或促进开花，因此，又称短夜植物。

【短日植物】简写 SDP。在日照长度小于或等于临界日长条件下开花或促进开花的植物。例如水稻、大豆、大麻、菊、苍耳、紫苏等。这类植物在自然条件下，一般在日照长度由长变短的秋季开花。白昼越短，越促进开花。但光期缩短到 2 小时以下，也不能开花，这可能由于光合作用时间太短，造成营养不良的结果。在短日植物中有些对一定日（照）长（度）要求是绝对的，它们的开花需要一个最高的极限日长（临界日长），在比临界日长更长的日照下不能开花。例如北京大豆（中熟种），它的临界日长为 15 小时，这种植物开花需要的日长不能超过 15 小时，15 小时是它开花

的最高极限日长，这样的植物称为绝对短日植物；另外有一些植物对日长要求不是那么绝对，它们在不适宜的日长（即大于临界日长）条件下，最终也能开花，但在适宜的日长条件下可以促进开花，这样的植物称为相对短日植物。由于在光周期诱导开花中起主要作用的是每天黑夜的长度。短日植物在大于或等于临界夜长条件下开花或促进开花，因此，又称长夜植物。

【日中性植物】又称中间性植物。开花对日照长度没有严格要求的植物。这类植物经过营养生长后，在适宜的生长条件下，任何长度的日照都能开花。例如番茄、黄瓜、茄子、菜豆、辣椒及一些四季都能开花的植物。

【临界日长和临界夜长】昼夜周期中诱导植物开花所需的极限日（照）长（度），称为临界日长。长日植物和短日植物的区别，不是在于它们开花对日长要求的绝对数值，而是在于它们对日长的要求有一最低的或最高的极限。长日植物有一最低的极限；短日植物有一最高的极限。因此，临界日长是指昼夜周期中诱导长日植物开花所必需的最短的日长，或诱导短日植物开花所必需的最长的日长。例如短日植物苍耳的临界日长为15.5小时，在日长小于或等于15.5小时条件下才可开花；长日植物天仙子的临界日长为11.5小时，在日长大于或等于11.5小时条件下才开花。这两种植物在14小时日长条件下都可开花。因为14小时小于苍耳的临界日长，而大于天仙子的临界日长。在自然条件下，一天24小时的昼夜交替中，日长和夜长是互补的，与临界日长相应的有临界夜长。临界夜长又称“临界暗期”，是指昼夜周期中诱导短日植物开花所需的最短的黑夜（暗期）长度或长日植物开花所需的

最长的黑夜（暗期）长度。例如苍耳的临界夜长为 8.5 小时，天仙子的临界夜长为 12.5 小时。

【光周期诱导】开花受光周期调节的植物达到花熟状态时，只要获得足够时间的适宜的光周期，其后即使处于不适宜的光周期下，不久也会进行花芽分化。也就是说，花芽的分化不是出现在适宜光周期处理的当时，而是在处理后若干天，因此光周期的作用是个诱导过程。植物经过适宜的光周期处理后，其效应可保持在体内，花芽的分化就是适宜光周期处理效应的表现。这种适宜的光周期使植物从营养生长转入分化花芽状态的作用称为光周期诱导。不同植物需要适宜光周期诱导的周期数（即光周期处理的天数）是不同的。例如苍耳、日本牵牛、毒麦、菠菜等只需要一个诱导周期（即 1 天），天仙子需要 2—3 天，大麻 4 天，苧麻 7 天，胡萝卜 15—20 天。这是最低诱导周期数，少于这个数就不能形成花芽，多于这个数，花芽提前形成，花的数目增多。光周期诱导需要的周期数也因植物年龄及环境条件变化而有差异。在许多植物中常可看到随着年龄增加，诱导需要的周期数减少的现象。植物感受光周期最有效的部位是叶子。叶片中的光敏色素接受光周期刺激，然后传递到茎端分生组织，引起花芽分化。

【开花素假说】最早由前苏联柴拉轩提出的一种假说（1937）。认为在适宜光周期诱导下，叶中形成具有激素性质的开花刺激物质，自叶传递到茎端分生组织，引起花的形成。柴拉轩把这种开花刺激物质命名为开花素，由它决定植物开花与否。1958 年他又提出开花激素是由形成茎所必需的赤霉素和形成花所必需的成花素两种物质组成，植物体内二者同时存在时才能开花。该假说提出后

曾得到许多实验的支持。实验证明：光周期诱导后确有开花刺激物质存在，并由叶子运到茎端，引起花的发端。另外这物质还可通过嫁接的联合组织传递给处于不适宜光周期下的另一植株，引起它开花。开花刺激物质的分离提纯工作进展极有限。1961年林肯等从开花的苍耳获得具有开花活性的粗提取物，可使处于长日条件（不适宜光周期）下的苍耳有50%的植株开花。但进一步提纯时失活。因此，假说中的开花素或成花素至今尚未被纯化出来，还属一种假定的物质。

【春化作用】低温诱导或促进植物开花的作用。冬小麦在自然条件下必须秋播，经过秋末冬初低温，第二年初夏开花结实；如果春播，则当年不能正常开花结实。1928年前苏联李森科把吸胀萌动的冬小麦种子预先进行低温处理再春播，这样就和春小麦一样，春播也能在当年开花结实，好象冬麦春麦化了。因此，李森科把这种低温处理的方法称为春化。实际上冬小麦要求低温的遗传性并没有因低温处理而改变，只是以人为提供的低温代替了自然的低温。但这名词后来一直被沿用下来。除了冬小麦、冬黑麦等一些冬性一年生植物外，还有许多二年生植物（例如芹菜、胡萝卜、白菜、甘蓝、甜菜等）和一些多年生草本植物的开花，也需要低温诱导。植物开花对低温的需要有专性和兼性两种。专性的对低温诱导开花的要求是质的（或绝对的），如将植物放在温室里，会连续几年保持营养生长；兼性的对低温的要求是量的（或相对的），低温可促进植物的开花，未春化的植株开花延迟，但最终也能开花或勉强形成花。一般地说，有兼性需要的植物在种子吸胀萌发阶段就能进行春化，例如冬性一年生植物；专性需要的植物必须在幼苗长到一定大小时才能进行春化，例如二年生或多年生草木

植物。植物感受低温的部位为茎端生长锥或胚。进行春化作用的主要条件是一定时间的低温，对大多数植物来说 $1-7^{\circ}\text{C}$ 是最有效的温度范围，低温处理持续的时间，一般需 1—3 个月。此外还需要一定的水分、氧气和呼吸基质（糖）等综合条件。在春化过程完结之前，将植物放在高温（ $25-40^{\circ}\text{C}$ ）或缺氧条件下，春化作用效果减弱或消失，这现象称为去春化作用或春化解除作用。去春化的植物返回到低温下可重新春化。一旦春化过程完全完成后，春化效果一般是稳定的，在高温下不引起春化解除。植物通过春化与未通过春化在形态上虽没有差别，但生理状态却发生了变化。对那些需要春化和光周期诱导才能开花的植物来说，只在完成春化后才能在适宜的光周期下，由营养生长转入生殖生长。如未完成春化，即使在适宜的光周期下也不能转入生殖生长。这说明通过春化的和未通过春化的植株处于不同的生理状态。关于春化作用的生理生化机制，目前尚处于累积资料阶段。

【阶段发育理论】前苏联李森科提出的一种植物发育的理论，认为种子植物的个体发育是由一系列依次更替的和质的不同阶段所组成。在每个阶段，植物对外界条件有一定的要求，这些要求是植物细胞进行质变所需要的，无这些质变就不可能开花结实。他根据自己的研究结果，确认一、二年生种子植物的发育至少有两个阶段：第一阶段是春化阶段，完成这一阶段，除要求一般的生活条件外，温度是主要关键；第二阶段的主要关键是一定的日照长度。不同的植物通过春化阶段和光照阶段时所需要的条件是不同的，这些条件正是该物种系统发育中形成它的遗传性的那些条件。如小麦起源于中亚细亚高纬度地区，它的春化阶段要求较低的温度，光照阶段要求较长的日长；水稻起源于中国南方和东南亚低

纬度地区，一般要求较高的温度和较短的日长。植物阶段发育的基本规律：(1) 顺序性，发育阶段的进行具有严格的顺序性。在植物没有完全结束春化阶段前，不能进入光照阶段。后一个发育阶段只能在前一阶段结束和具有一定外界条件时才能开始。(2) 不可逆性，在完成发育阶段时，植物细胞内所发生的质变是不可逆的。(3) 局限性，发生质变的部位局限于生长点分生组织细胞内，并只能通过细胞分裂传给子细胞。这一学说揭示了植物发育的某些规律，但只在少数植物上表现明显，不普遍适用于所有植物。

【花粉集体效应】花粉在人工培养基上或柱头上萌发时，花粉密度越大，萌发率越高，花粉管生长越快，这种现象称为花粉集体效应。例如黄瓜花粉在人工培养基上单个花粉管的平均长度为 768 微米，而成撮撒布的则长 1034 微米。苹果的花粉当每毫升培养基中含有 40×10^3 粒时，萌发率为 13%，含有 280×10^3 粒时，萌发率猛增至 74%。花粉的集体效应是由于花粉粒本身分泌出对花粉萌发有效的物质，这是一种或多种高度扩散性的水溶性物质。在较密集的情况下，花粉之间有相互刺激作用。人工辅助授粉既促进花粉的萌发和花粉管的生长，也增加受精机会，是一项有效的增产措施。

【单性结实】植物不经受精而其子房发育成果实的现象。有两种类型。(1) 不经授粉受精或其他任何刺激便能结实的，称为天然单性结实。自然界中许多天然单性结实的植物，其中包括一些具有商品价值的果树种类，如香蕉、菠萝、无子柑桔等，它们的祖先本不是单性结实的，而是在自然条件下，由于种种原因，使个别植株或枝、芽产生突变，结成无子果实，通过人们选择和无性繁

殖被保持下来，成了不经授粉而具有座果能力的品种。(2) 不经受精而是通过某种刺激而形成果实的，称为刺激性单性结实。例如通过授粉刺激（用异种植物的花粉或花粉浸出液喷撒柱头）、物理刺激（低温、高温、高光强度等）以及一些化学物质的刺激（激素等），可引起某些植物或品种的单性结实。人工诱导单性结实，主要用生长调节剂来刺激雌蕊。例如生长素能诱导番茄、无花果、芒果等单性结实，但对苹果、梨、樱桃等，生长素不能诱导，而赤霉素能获成功。由于赤霉素种类繁多，其作用效果不一。例如对苹果、西洋梨来说， GA_4 诱导单性结实效果比 GA_3 更好，但品种之间也有差异。单用赤霉素不如与细胞分裂素、生长素混用效果好，座果后果实发育亦佳。单性结实所产生的果实都是无种子的，但无子果实不一定是单性结实所致。有些植物授粉受精后，由于胚中途败育而形成无子果实，这种现象称为假单性结实或伪单性结实。如无核白葡萄、无核柿子等。

【器官脱落】高等植物器官（叶、花、蕾、果、枝条等）从母体脱离的过程。脱落发生在特定的组织部位，称为“离区”。这区域中一般具有离层和保护层。离层是分离发生的地方；保护层是器官脱落后保护新暴露表面的几层细胞，这些细胞往往栓质化，以防止外来病菌的侵入和水分的散失。器官将发生脱落时，离区中发生许多变化，主要的生理活动是降解细胞壁和中胶层的水解酶类的合成和分泌。由于酶的作用，使细胞彼此分离，在器官本身的重力和外力（如风的摇曳）作用下，器官就脱落。器官脱落是植物对外界环境的一种适应。例如一年生植物果实种子成熟后脱落，便于传播，繁殖后代；温带落叶树在严冬来临前，全树叶子同步衰老脱落，对渡过冬季不良条件有利。因为在冬季冻结的土壤中，

植物吸水很困难，落叶可大大减少蒸腾面积，保持体内水分平衡，有利于物种的生存和延续。因此，正常的器官脱落对植物自身有利。植物遇到不良条件（例如缺水、低温、阴蔽等）或遭到病虫害时，器官常发生不正常脱落，给生产造成损失。脱落是一个复杂的生理过程。关于脱落的机理至今尚没有统一意见，研究得较多的是有机营养及其运输的理论和激素作用学说。在农林业生产上，常用生长调节剂处理有关器官以减少脱落（如防止果实的采前脱落）或促进脱落（如疏花、疏果等）。

【衰老植物】自然地终止一个器官或整株生命活动的衰退过程。衰老总是先于器官或整株的死亡，因此，它可看作是导致自然死亡的最后发育阶段。是植物发育的一个正常过程。植物衰老主要表现在生长速率下降、停滞，合成代谢衰减，RNA 和蛋白质含量明显下降，绿色部分的叶绿素逐渐消失而变黄，器官脱落直至全株死亡。衰老可发生在整株水平，例如一、二年生植物在开花结实后，除留下种子外，全都衰老死亡。也可发生在器官水平，例如多年生草本植物，每年地上部分衰老死亡，根系和其它地下部分可继续生存多年。甚至也发生在细胞水平，例如导管、管胞或厚壁细胞在组织成熟过程中衰老死亡。不论整株、器官或细胞的自然衰老，都不是消极的，而且对植物的生态适应、进化以及内部生理功能具有积极意义。例如一、二年生植物衰老死亡之前，体内营养物质转运到种子，并以休眠状态渡过不良环境，这对种的延续有利。另外，如果产生了优良的遗传性基因变异，这变异植株通过种子繁殖，可快速地进行增殖。又如导管、管胞细胞衰老死亡，形成输导水分的空细胞，对运输有利。而厚壁细胞因细胞壁加厚，可起支持作用。

植物的逆境生理

【胁迫】能使植物内部产生有害变化的任何环境因子。植物在自然界中常会遇到环境因子的剧烈变化，当变化幅度超过植物正常生活所要求的范围，即对植物产生伤害作用。影响植物生长发育的胁迫因子很多，可分为生物胁迫和物理化学胁迫两大类。胁迫因子对植物产生的伤害效应可分为原初胁迫和次生胁迫。例如盐分胁迫的原初胁迫是盐分本身对植物细胞质膜的伤害及由此引起的代谢失调。另外盐分过多，使土壤水势下降，从而产生水分胁迫，造成根系吸水困难，甚至引起细胞脱水。这种伤害，不是胁迫因子本身作用，而是由它引起的次生胁迫造成伤害，故称次生胁迫。

【胁迫抗性】植物对高温、寒冷、水涝、干旱，盐碱、病虫害等胁迫因子的抵抗能力。即一般所说的“抗逆性”或“抗性”。可分为两种形式：（1）避逆性。即植物通过各种方式，设置某种屏障，从而避免或减少胁迫因子对植物的影响。例如有些盐生植物，通过特殊的盐腺构造，将体内盐分分泌到体外，避免盐分胁迫的伤害。（2）耐逆性。尽管植物受到一定的胁迫，但它可以全部或部分地忍受，而不产生或只产生较小的伤害。具有耐逆性的植物能阻止、降低或修复由胁迫造成的损伤，使它们能存活下来，甚至维持正常的生理活动。某些蕨类植物如卷柏，在极度干旱的环境中仍不丧失生活能力，一旦水分供应充足，就可旺盛生长，有“九死还魂草”之称。胁迫抗性是植物对不良环境适应的结果。抗性的强

弱因植物种类、品种而不同，因此抗性的强弱是鉴定作物品种性状的一个重要指标。抗性的强弱也因植物的生理状态不同而异。例如在植物的一生中，休眠期间抗性最强，生长旺盛时期抗性较弱；营养生长时期抗性较强，开花时期抗性较弱。另外生长健壮的植株抗性较强，生长衰弱的植株抗性较弱。

【热害】高温对植物的伤害。致害高温的界限因植物种类、高温的持续时间以及其他条件而异。一般高等陆生植物的热胁迫温度为45—65℃。高温对植物的伤害是多方面的，有间接伤害和直接伤害。间接伤害如高温使植物体内氮化物的合成受到抑制而蛋白质水解加强，使体内积累氨而产生毒害；由于植物光合作用的最适温度一般都低于呼吸作用的最适温度，因此在高温下，呼吸速率大于光合速率，植物出现饥饿；高温使某些必需代谢物质（如核黄素、腺嘌呤等）缺乏，引起生长不良或出现伤害等。直接伤害如高温引起蛋白质变性，使膜脂液化，直接影响细胞质的结构等。另外，由于高温促使蒸腾作用剧增，故还可诱发次生胁迫——干旱的伤害。

【冷害】零度以上的低温对植物的危害。包括两种情况：一种是原产于热带、亚热带的喜温植物如番茄、黄瓜、水稻等，遇到零度以上到10℃左右的低温时受到伤害；另一种是生长在温带的植物如冬小麦，其幼苗虽能抵抗冬季寒冷，但在小孢子发育的四分体阶段以及开花受精时期，零度以上低温也能引起伤害。冷害的主要原因可能低温引起生物膜的膜脂由正常的液晶相变为凝胶相，破坏了膜的正常透性，使膜内离子、溶质外渗，结果细胞内离子和基质失去原有平衡。同时膜脂的相变也会影响到膜结合酶的活

性，使膜结合酶和游离酶之间的反应速率失去平衡。有机物的水解占优势，蛋白质水解大于合成。光合速率剧烈下降，使植物发生饥饿。有氧呼吸降低，无氧呼吸增加，能量供应减少，体内积累有毒物质。根系吸水速率的下降超过蒸腾速率下降，破坏体内的水分平衡。如果低温程度较轻，时间较短，对植物的伤害可以是可逆的；如果低温强度大、时间长，就可出现不可逆的伤害。

【冻害】冰点以下的低温，使植物体内结冰引起的伤害。可分胞间结冰伤害和胞内结冰伤害两种。当温度逐渐下降至冰点以下时，细胞间隙内的水先结冰，使细胞间隙的蒸汽压下降，导致胞内水分向外扩散、冻结，冰晶体逐渐加大。胞间结冰伤害程度除了与植物种类有关外，还与低温持续时间和解冻速度有关。冷冻持续时间越长，冰晶体可能越大，对细胞的伤害也越重。因为冰晶体越大，细胞失水越多，原生质过度脱水，会引起蛋白质变性而受害。同时大冰晶体可对周围细胞的原生质体产生机械挤压而造成伤害。胞间结冰不一定使植物致死。一些抗冻性强的植物如大白菜、大葱有时虽冻得呈透明状，只要温度逐渐回升，缓慢解冻，细胞能重新吸回失去的水而恢复。但如果温度骤然大幅度回升，冰晶体急剧融化，则由于细胞壁先迅速吸水向外扩张恢复原状，就可能使紧贴在细胞壁上的原生质还没有来得及吸水膨胀，就被细胞壁向外扩张的机械拉力撕破而死亡。当温度急剧下降至冰点以下时，在胞间结冰的同时，胞内水分也形成冰晶。胞内结冰的伤害主要是机械损伤，冰晶体对质膜、细胞器和衬质结构产生破坏作用。胞内结冰常给植物带来致命的伤害。

高等动物 的结构和生活

动物的组织

【上皮组织】由紧密排列的细胞及其间少量的细胞间质连接构成的动物的基本组织。上皮组织在体内分布很广，有覆盖体表的表皮及衬在体内各种管、腔和囊状器官里面的粘膜上皮等。上皮组织内没有血管及淋巴管，细胞所需营养物质及代谢产物是通过其下极薄的基膜的渗透作用来进行物质交换，上皮组织有丰富的神经末梢分布。上皮组织具有保护、吸收、物质输送、排泄和分泌及感觉等功能。由于上皮所在部位不同，功能亦有所不同。上皮组织可分为被覆上皮、腺上皮、感觉上皮三部分。上皮组织有较强的再生修复能力。在生理状态下，皮肤的表皮、消化管和子宫等的上皮更新显著，衰老、死亡、脱落的细胞由分化低的幼稚细胞不断增生补充。由炎症、创伤造成的胃肠上皮或表皮缺损时，由邻近未损伤的上皮细胞或上皮基底部细胞增生补充，新生的细胞移到损伤的表面。

【腺上皮】以具有分泌功能的腺细胞为主要成份的上皮。以腺上皮

为主构成的器官称腺或腺体。根据输送分泌物的导管的有无可分为：(1) 外分泌腺。有导管，又称有管腺。由分泌部（泡状、管状或管泡状腺泡）和导管部组成。分泌部的细胞所合成和释放的分泌物借与分泌部相连的导管输送到体表或器官的管腔中，如肝、胰、唾液腺和前列腺等。有些腺体存在于一些器官中，如消化管道、呼吸道和皮肤的腺体等。还有散在于器官粘膜上皮中的杯状细胞分泌、释放粘蛋白后，水化成有润滑性的粘液，涂于上皮表面起保护作用。(2) 内分泌腺。没有导管，又称无管腺。腺细胞大多排列成团状、索状，少数围成滤泡。细胞间有丰富的毛细血管或毛细淋巴管，每个腺细胞至少有一面贴附或靠近血管或淋巴管。腺细胞的分泌物称激素，可经血液或淋巴液输送到全身或特定的靶组织、靶细胞产生作用。

【被覆上皮】覆盖于体表或衬贴在体内一切有腔器官的腔面的薄膜状组织。上皮细胞具有明显的极性，其朝向体表或有腔器官腔面的一端称游离面，与游离面相对的一端称基底面，借细胞间质形成的薄层基膜与深部结缔组织相连，两者所处的环境、结构及机能均有不同。不同的上皮细胞游离面可有微绒毛（纹状缘、刷状缘）及纤毛等结构；其侧面可分化出细胞连接结构如紧密连接、中间连接、桥粒及缝隙连接等；基底面有质膜内褶等。分布在腹膜、胸膜、心包膜等浆膜表面的称间皮，表面湿润光滑，有利于内脏运动；衬贴于心脏、血管及淋巴管腔面的称内皮，游离面光滑，利于血液和淋巴液的流动；复盖体表的称表皮，具有耐摩擦、防止水份丢失和有害物质侵入的保护作用。根据上皮细胞的层数可分为单层上皮和复层上皮；按单层上皮细胞或复层上皮浅层细胞的形状可分为扁平、立方和柱状上皮。通常结合两种分类可将被覆

上皮分为多种，例如间皮和内皮为单层扁平上皮；皮肤表皮为复层扁平上皮。

【感觉上皮】能感受各种刺激的上皮。有：（1）味觉上皮。味蕾是味觉感受器，多位于舌背面菌状乳头及轮廓乳头上皮中，也存在于软腭、咽及会厌等处上皮内。味蕾是卵园形的细胞群，顶端有小的味孔，开口于乳头上皮表面。味蕾中感受味觉的味细胞，也称毛细胞。细胞顶部有味毛从味孔伸出，细胞基部有味觉神经末梢终止。（2）嗅觉上皮。分布于鼻中隔上方两侧和上鼻甲的嗅粘膜上皮。粘膜上皮中的嗅细胞，细胞顶端有嗅毛，能感受悬浮于气体中的微粒或溶于液体中的有气味的化学物质的刺激，细胞基部轴突穿出基膜后组成嗅神经。粘膜上皮若受损害，则嗅觉功能丧失。（3）视觉上皮。眼球内层——视网膜上有感光细胞，又称视细胞。包括视杆细胞和视锥细胞。视杆细胞数目多，人约有 1.2 亿个，感受弱光或暗光，细胞含有视紫红质等感光物质。若缺乏维生素 A，视紫红质的合成减少，易患夜盲症。视锥细胞可感受强光及颜色。人视网膜中有分别对红、绿、蓝三种原色敏感的三种视锥细胞。如人对三原色中的一种或两种缺乏辨别能力，即缺乏感受该色的视色素，称色盲。（4）听觉上皮。内耳耳蜗管的底壁上有排列复杂的感觉上皮形成的隆起，称螺旋器，是听觉感受器，主要由毛细胞和支持细胞构成。毛细胞是接受声波的细胞，每个毛细胞顶部有许多根静纤毛，细胞基部有耳蜗神经纤维的终末附着。如果长期使用链霉素、卡那霉素等药物，可引起毛细胞的纤毛溶解或消失，毛细胞退化，造成耳聋。

【结缔组织】少量细胞和大量细胞间质组成的组织。结缔组织分布

广，不与外界直接相接。结缔组织的细胞种类多、散在细胞间质中。细胞间质包括基质和纤维。基质为无定形物质，其主要成分是蛋白质与大量多糖结合成的大分子复合物。主要多糖为透明质酸和硫酸软骨素。透明质的亲水性强，酸量越多细胞间质越柔软。基质可呈液态（如血液）、胶态（如纤维结缔组织）和固态（如软骨和骨）。纤维呈细丝状，包埋于基质中，可分为胶原纤维、弹性纤维和网状纤维。结缔组织中有丰富的血管和神经分布。主要有连接、支持、包被、营养、保护、防御和修复等功能，不同结缔组织功能有不同。结缔组织可分为疏松结缔组织、致密结缔组织、脂肪组织、网状组织。前二种统称纤维结缔组织，或简称结缔组织。

【疏松结缔组织】细胞种类及基质含量较多、纤维含量较少且排列疏松呈蜂窝状的结缔组织。又称蜂窝组织。疏松结缔组织分布极广，填充在器官、组织以至细胞之间，还包围在血管、淋巴管、神经及部分器官周围，具连接、支持、填充、防御保护、营养和创伤修复等功能。纤维含有胶原、弹性和网状纤维，其中胶原纤维数量最多，由胶原蛋白构成，水解后形成明胶，纤维韧性大、抗拉力强。基质为无结构的均质状胶态物质，细胞和纤维埋于其中。透明质酸是曲折盘绕的大分子，分子间借蛋白质分子和其它多糖分子相连，形成有微小孔隙的分子筛。小于孔隙的水溶性物质如营养物质、气体分子和代谢产物等易于透过，可使血液和细胞顺利地进行物质交换，大于孔隙的大分子如细菌等不易透过，可起屏障作用，而溶血性链球菌、癌细胞等产生透明质酸酶，破坏基质的屏障作用，使炎症和肿瘤浸润扩散。细胞种类多，其数量和分布随生理状况的改变而变动，包括成纤维细胞、未分化的间充

质细胞、脂肪细胞、巨噬细胞、浆细胞、肥大细胞和白细胞，其中成纤维细胞较多，具有产生纤维和基质的功能。巨噬细胞又称组织细胞，细胞能做变形运动，胞质内富含溶酶体，能吞噬和清除异物、病菌和衰老、病变细胞，具有重要防御作用，能启动免疫反应和分泌活性物质如干扰素、白介素Ⅰ等，参与免疫调节。

【致密结缔组织】细胞和基质成分很少，以成纤维细胞为主、胶原纤维粗大且多、排列紧密。致密结缔组织起连接、支持和保护作用。纤维排列规则的如肌腱、腱膜等，其胶原纤维束密集平行排列；纤维排列不规则的如真皮、眼球巩膜、大部分器官的被膜等，其胶原纤维交织成致密的网。少数致密结缔组织富含粗大弹性纤维，称弹性组织，如黄韧带、项韧带和声韧带等。

【软骨组织】简称软骨。由软骨细胞、凝胶状的基质和包埋在其中的纤维所组成。软骨细胞居于软骨基质的小腔内，称软骨陷窝。软骨细胞有合成及分泌纤维和基质的功能。基质主要成份为软骨粘蛋白和水，纤维包埋于基质中可增强软骨的韧性或弹性。根据基质内所含纤维成分和数量可分为：（1）透明软骨，新鲜时呈浅蓝色半透明状，基质内含有由细胞分泌的胶原原纤维，其折光率和基质相同，在光镜下不显纤维。透明软骨是胚胎早期的临时性骨骼，成为身体的支架，随胎儿的发育，逐渐被骨所代替，在成体内分布在鼻、喉、气管、支气管、肋软骨和长骨关节面等处，分布最广。（2）弹性软骨，基质中含有大量交织成网的弹性纤维，富于弹性，分布在耳廓、会厌等处。（3）纤维软骨，基质内含有大量平行或交错排列的胶原纤维束，软骨细胞较小，常成行排列于纤维束之间，分布在椎间盘、耻骨联合及关节盘等处。软骨外面

包有一层纤维性结缔组织（关节软骨面没有），称软骨膜。软骨膜外层富含纤维，内层富含血管、神经和细胞，起保护和营养作用。软骨组织再生能力弱，软骨膜紧贴软骨表面有一种小型幼稚细胞，能分裂分化为软骨细胞，对软骨的生长和修复起着重要作用。

【骨组织】由细胞和细胞间质（骨质）构成的最坚硬的结缔组织称骨组织。骨质的有机成分含大量胶原纤维和少量基质，约占骨重的 35%，使骨具有很大的韧性；无机盐成分主要为钙盐，又称骨盐，约占骨重的 65%，电镜下钙盐多呈针状，沿胶原原纤维长轴排列，致使骨质坚硬。儿童期骨质有机成分较多，弹性较好，但骨盐不足易致弯曲；老年期骨盐含量增加，有机成分减少，骨质脆，易骨折。胶原纤维平行排列，借基质粘合在一起，并有钙盐沉积形成薄板状结构，称骨板，是骨质的基本结构形式，使骨质有很强的机械性能，即抗压又有韧性。骨组织主要由骨膜、骨质、骨髓、神经、血管等构成。骨膜紧贴除关节面以外的骨的表面，是致密结缔组织，有神经与丰富的血管，供给骨的营养。骨膜内层有成骨细胞，可以造骨，使骨增粗。骨折时，促使骨的再生和愈合。骨质是骨的主要部分，由骨密质和骨松质组成。骨密质质密而坚硬，耐压性大，在骨的外层和长骨的骨干处。骨松质呈蜂窝状，由相互交叉的骨小梁构成，它的排列与承受力的方向一致，弹性较大，分布在短骨内部和长骨两端膨大的骺端。扁骨由内外二层骨密质和中间夹着的骨松质组成。骨髓腔和骨松质中有骨髓。胎儿和幼儿期全为红骨髓，它是造血组织。6 岁前后，骨髓腔中骨髓逐渐被脂肪组织替代，成为黄骨髓，失去造血能力。但是，在长骨的骨骺，扁骨等的骨松质中仍为红骨髓。根据骨板的排列形式和空间结构的不同，骨可分为松质骨和密质骨。细胞成分有：

(1) 骨细胞，位于骨板间或骨板内，细胞扁圆形具多突，胞体位于骨陷窝内、细长突起位于骨小管内。相邻骨细胞突起借缝隙连接相接。(2) 骨原细胞，位于骨外膜和骨内膜最深层的一种幼稚细胞，具有强的分裂增殖能力，当骨组织生长或重建时，能分裂分化为成骨细胞。(3) 成骨细胞，具有合成和向骨组织表面分泌胶原纤维和基质的功能，在分泌过程中自身包埋其中，当钙盐沉积成骨质时，成骨细胞变为骨细胞。(4) 破骨细胞，位于骨的吸收面的多核大细胞。破骨细胞可释放多种蛋白酶、乳酸和柠檬酸等，溶解骨组织。破骨细胞有溶解吸收骨质的作用。老年期，骨质的吸收大于生成，使骨变得疏松易折。在骨髓腔壁的内面和骨松质的腔隙内，衬有很薄的骨内膜，其中的破骨细胞有破坏骨质的作用。随着骨的增粗，使骨髓腔不断扩大。长骨的骨干与骨骺间有骺软骨，它不断增生，骨化，使骨的长度增加。到 25 岁左右，骺软骨停止生长，骨化后形成骺线。每块骨都是一活的器官，不断进行新陈代谢。骨质中除细胞成分外，细胞间质中有胶原纤维，纤维之间有粘蛋白，起粘合作用，为有机成分，占骨重的 $\frac{1}{3}$ 。间质中的无机成分为骨盐，主要由钙、磷酸根和羟基结合而成。化学结构与羟基磷灰石相似。占骨重的 $\frac{2}{3}$ 。有机物是骨的支架，使骨具有弹性和韧性，而无机物使骨质坚硬。幼儿的骨无机成分较少，有机成分较多，因此硬度小弹性大，可塑性大。不正确姿势易造成骨骼畸形。老年人的骨无机成分多，有机成分较少，因此弹性小脆性大，易产生骨折。体育锻炼和体力劳动可使骨的结构发生变化，使骨粗壮。长期卧床的病人，骨质则较疏松。

【肌肉组织】由具有高度收缩能力的肌细胞组成的机体组织。肌细胞间有少量结缔组织、丰富的血管和神经。肌细胞细长呈纤维状，

故又称肌纤维，肌纤维的细胞膜称肌膜、细胞质称肌质或肌浆。肌浆中有大量沿细胞长轴平行排列的细丝状的肌原纤维。根据肌细胞的形态和功能特点，可分为骨骼肌、心肌和平滑肌。前两种肌纤维有明暗相间的横纹，又称横纹肌。平滑肌纤维没有横纹。骨骼肌的收缩受意志支配，收缩迅速、有力，又称随意肌。心肌、平滑肌的收缩不受意志支配，又称不随意肌，收缩缓慢而持久，不易疲劳。

【骨骼肌】分布于躯干及四肢骨骼上的具有横纹的肌肉组织。少数分布在舌、咽、食管和喉。肌纤维为长园柱形，肌纤维内有大量卵圆形细胞核位于肌膜下方。丰富的肌原纤维沿细胞长轴平行排列，每条肌原纤维是由许多明、暗交替排列的带所组成，各条肌原纤维的明带和暗带都整齐地排列在同一平面上，使肌纤维呈明暗相间的横纹。电镜下肌原纤维由粗、细两种肌丝构成。两种肌丝沿肌纤维长轴按规则的空间布局相互间隔而平行地排列。粗肌丝是由肌球蛋白分子构成，细肌丝是由肌动蛋白、原肌球蛋白和肌钙蛋白三种蛋白组成。粗、细肌丝间相对滑行是肌肉收缩的机制。肌浆中还含有肌红蛋白、线粒体、糖原颗粒等。肌红蛋白分子结构近似血红蛋白，能与氧结合，起到储存氧的作用。依肌浆中肌红蛋白和肌原纤维的多寡等，肌纤维可分为：（1）红肌纤维，富含肌红蛋白和线粒体，肌原纤维较细较少，故呈暗红色，肌纤维收缩缓慢而持久。（2）白肌纤维，肌红蛋白和线粒体都较少，肌原纤维较多，故色淡，肌纤维收缩快，但持续时间短，易疲劳。（3）中间型肌纤维，结构与功能介于上二种之间。人的骨骼肌多数由三种肌纤维混杂存在，但它们在各肌肉中的数量比例不同，如小腿腓肠肌以白肌纤维为主，适于敏捷运动，而经常处于运动的

眼肌、咀嚼肌和呼吸肌等则以红肌纤维为主。肌肉富含血管和神经，由肌腱连接到骨骼上。通常童年后肌纤维的数目不再增多，但肌浆及肌原纤维可继续增加，使肌纤维体积增大。经常运动的肌肉其肌纤维中肌浆增多，肌纤维增粗，肌肉发达。

【心肌】构成心脏壁的心肌纤维组织。心肌纤维有横纹，属横纹肌，但没有骨骼肌清楚。心肌能作有规律的收缩而不受意志支配。心肌纤维呈短柱状，中央有一细胞核，纤维分枝互相连接，呈网状，心肌纤维间有丰富的毛细血管。心肌纤维连接处的胞膜特化形成闰盘，闰盘处横的接触面上，有中间连接和桥粒，使相邻细胞连接牢固，纵向接触面上，有缝隙连接，相邻细胞间离子和小分子物质可以通过和传递信息，使许多相连的心肌纤维形成一个功能整体，兴奋同步化。心肌纤维的收缩也是通过肌丝的滑动来完成的。心肌细胞的再生能力很小，一旦受损伤，由结缔组织增生修补。

【平滑肌】由不具横纹的平滑肌纤维构成的肌肉组织。肌纤维间有少量结缔组织，内有血管和神经。平滑肌常呈节律性而不受意志支配的收缩，收缩缓慢持久，属不随意肌。肌纤维呈长梭形，在不同的器官中长短及粗细不一，如妊娠子宫壁的平滑肌纤维最长，可达 500 微米，而且数量多。肌纤维核椭圆形位于细胞中央，肌丝也由粗、细丝组成，但排列不够规整，与细胞长轴呈一定角度。平滑肌纤维多集成束或成层，在同一束或层内，纤维平行排列；不同肌层间纤维常互相垂直排列。平滑肌构成胃肠道、呼吸道、泌尿生殖管道、血管、淋巴管等器官管壁的肌层。平滑肌细胞间的缝隙连接可以交换化学信息和传递神经冲动，使许多平滑肌细胞

形成一功能整体。内脏器官和血管壁中的平滑肌受损伤后，一般是由结缔组织中未分化的间充质细胞分化和伤面附近正常肌细胞增殖来补充，未弥合部分由结缔组织填充。

【神经组织】由神经细胞和神经胶质细胞构成的机体组织。神经细胞又称神经元，是高度特化的细胞，是神经组织的主要成分和神经系统的结构和功能单位。人体内约有 10^{11} 个神经细胞，能接受各种刺激及传导神经冲动，使神经系统能传导、分析和综合体内、外信号，调节其他系统的活动来适应内、外环境的瞬息万变。神经胶质细胞数量比神经细胞更多，对神经细胞起支持、保护、营养和绝缘等作用。

【神经胶质】又称神经胶质细胞或胶质细胞。神经组织中除神经元以外的另一类细胞。其数量远比神经元为多，广布于中枢和周围神经系统中，常位于神经元的胞体和突起的周围。神经胶质细胞是多突的细胞，但突起无轴、树突之分，不能传导冲动，对神经元有支持、营养、排除代谢产物、保护、形成髓鞘、绝缘和修复等功能。中枢神经系统的神经胶质细胞有纤维性星形胶质细胞、原浆性星形胶质细胞，少突胶质细胞、小胶质细胞以及衬于脑室和脊髓中央管腔面的室管膜细胞；周围神经系统的神经胶质细胞有神经节内的卫星细胞（被囊细胞）和包在轴突周围的神经膜细胞。

【神经元】能感受刺激和传导神经冲动的有长突起的细胞，又称神经细胞。是神经系统结构和功能的基本单位。细胞体形态多样、大小不一，是神经元的代谢和营养中心；细胞膜是可兴奋膜，在接受刺激、产生和传导冲动中起重要作用；不同神经元突起的形态、

多少及长短均不一样，但都是分为树突和轴突。树突将神经冲动传向胞体，轴突将神经冲动从胞体传递给其他神经元或肌细胞、腺细胞。通常一个神经元有 1 至多个树突，但轴突只有 1 条，最长的可达 1 米以上。神经元的胞体主要分布在脑的灰质和神经核团、脊髓灰质以及各种神经节（脑神经节、脊神经节、植物神经节）；神经元的突起则组成脑和脊髓的白质及遍布全身的神经。神经元按其突起数目可分为：（1）多极神经元，有 1 个轴突和多个树突；（2）双极神经元，有 1 个轴突和 1 个树突；（3）假单极神经元，从胞体发出 1 个突起，它再分为两支，按传导神经冲动的方向，1 个相当于树突，1 个相当于轴突。按功能可分为：（1）感觉（传入）神经元，接受体内、外环境的刺激，为双极和假单极神经元。（2）运动（传出）神经元，将信息传递至肌细胞和腺细胞等效应器，调节肌细胞的收缩和腺细胞的分泌，大多为多极神经元。（3）联合（中间）神经元位于上述二种神经元间，起联络作用。随着动物的进化，联合神经元的数量逐渐加多，人类神经系统中，联合神经元最多，完成极其复杂的联络作用，分析和综合传入的信息，有的并参与复杂的意识活动。神经元间相互接触，传递信息的结构称突触，根据突触传递信息的方式可分：（1）化学性突触，利用神经递质作为传递信息的介质。（2）电突触，直接传递电信息，前后两个神经元的胞膜相接处存在缝隙连接。神经元组成突触的部位主要有：（1）轴树突触，轴突末梢与树突接触。（2）轴体突触，轴突末梢与胞体接触。人体所有神经元间都以突触形式相接，构成整体的神经元网络。

【神经纤维】由神经元的轴突（或长树突）和外包的神经胶质细胞组成的纤维组织。包在中枢神经纤维轴突的为少突胶质细胞，包

在周围神经纤维轴突的为雪旺氏细胞。根据神经纤维有无髓鞘可分为两类：(1) 有髓神经纤维，由轴突、髓鞘和神经膜细胞组成。周围神经系统的髓鞘是雪旺氏细胞的细胞膜卷绕轴突形成，且有节段性，两节之间称郎飞氏结，神经冲动的传导是从 1 个郎飞氏结到另 1 个结的跳跃式传导。中枢神经系统的髓鞘是由少突胶质细胞突起包卷轴突而成。髓鞘的主要成分是鞘磷脂，它是一种加快神经冲动传导的绝缘体。(2) 无髓神经纤维，由轴突和雪旺氏细胞构成。中枢神经系统的无髓神经纤维没有神经膜细胞包裹，为裸露的轴突。因此无髓神经纤维神经冲动是沿轴突作连续性传导，传导速度慢。周围神经系统的神经纤维集合在一起，构成神经，大多数神经内可以同时含有感觉、运动和植物神经纤维，也有只含有感觉或运动神经纤维；多数神经内含有髓和无髓神经纤维，神经通常呈白色，是因髓鞘含鞘磷脂所致。中枢神经系统白质中的传导束是神经纤维（多数为有髓）构成的束。

【神经末梢】周围神经纤维的终末部分，终止于全身各种器官和组织内所形成的特殊结构——神经末梢装置。神经末梢按功能可分为两种：(1) 感觉神经末梢，由感觉神经元周围突的终末部分与其他组织共同组成，又称感受器，能接受体内、外的各种刺激，并将刺激转换为各种特殊的神经冲动传入中枢。感觉神经末梢按形态结构又分为游离的神经末梢和有被囊的神经末梢，游离的神经末梢的细支分布于表皮、真皮、粘膜、浆膜、角膜、肌肉、深筋膜及内脏的结缔组织中，感受冷、热、痛的刺激；有被囊的神经末梢如位于手指、足趾的掌侧真皮乳头内的触觉小体能感受触觉；环层小体感受压觉；分布于骨骼肌内的肌梭，为感受肌肉运动及肢体位置改变的本体感受器。(2) 运动神经末梢，是运动神经元

的传出纤维终末止于肌肉和腺体等处所形成的结构,又称效应器。终止到骨骼肌纤维,形成运动终板,当神经冲动传到终末时,引起肌肉收缩;终止于内脏的平滑肌、心肌和腺细胞的运动神经末梢,可引起肌肉组织收缩或腺体的分泌。运动终板、轴突末端和肌细胞及腺细胞间的连接也称突触(广义的突触)。

皮 肤

【皮肤】覆盖在人体和动物体表,有保护、感觉、排泄多种功能的器官。脊椎动物的皮肤包括外层的表皮,内层的真皮。皮肤与外界接触,它的结构受环境的影响。水生动物的皮肤较薄,皮肤腺体丰富,分泌粘液润滑体表,可减少游泳时的阻力。陆生动物的皮肤较厚,表皮有角质层,防止皮肤干燥。适应不同环境,皮肤还形成一些附属物,如鱼鳞、角质鳞、羽、毛、皮肤腺(粘液腺、汗腺、皮脂腺等)。角质层特化形成角、爪、蹄、指甲(或趾甲)等。人的皮肤厚薄不一,以背部、项部、手掌、足底最厚,腋窝、面部最薄。平均厚度为1—4毫米,成人皮肤总面积为1.2—2.0平方米。皮肤起保护和屏障作用,角质层耐摩擦,免受外物和细菌侵害,防止体内水分丢失。皮肤内有丰富感觉神经末梢,广大的感受面能感受痛觉、触觉、压觉、温度觉。通过汗腺活动,可调节体温,排出代谢产物。皮肤还参与维生素D的合成。正常情况,表皮细胞不断死亡脱落,生发层细胞增生递补,称生理性再生。皮肤再生能力很强,通常3—4周表皮更新一次。皮肤受损后的修复为补偿性再生。若伤及表皮,只由生发层增殖修复,不会留疤痕。

若伤及真皮，结缔组织增生的修复，就会留下疤痕。

【表皮】皮肤的外层，为复层扁平上皮。起源于外胚层。表皮一般分为四层，由内向外为生发层、棘细胞层、颗粒层和角质层。生发层（基底层）细胞为立方形到低柱状，分裂能力强，增殖后的新细胞向浅层推移。棘细胞层细胞为多角形，失去分裂能力。颗粒层细胞胞质内出现角质颗粒。角质层细胞变为扁平状，逐渐角质化，细胞核、细胞器消失，胞质内充满角蛋白。薄的皮肤如头皮、腹部皮肤，角质层只有数层细胞，而足底、手掌摩擦多的部位，角质层细胞可达数十层。排列紧密的角化细胞和胞质中的角蛋白，均可阻挡外物的侵入，并防止体内物质和水分丢失。表层角化细胞脱落成为皮屑。生发层细胞间有一种树枝状突起的细胞，称黑色素细胞，胞内有黑色素小体，这种特殊颗粒可形成黑色素，它能吸收紫外线，保护深部组织免受日光紫外线的损害，它的增多可使皮肤变黑。皮肤中还有胡萝卜素及由它转变的维生素A，可使皮肤呈天然黄色。真皮毛细血管内氧合血红蛋白使皮肤呈红色。这样，棕黑、黄、红三色配合，加上黑色素细胞的多少、表皮的厚薄，真皮血管血液供应的多少，使不同人种呈现不同肤色。表皮没有血管分布，物质交换通过细胞间隙的组织液进行。

【真皮】位于表皮下面的致密结缔组织。起源于中胚层。分乳头层和网状层。乳头层与表皮相连，向表皮深面形成许多乳头状隆起，称真皮乳头，含丰富毛细血管和感觉神经末梢。乳头状突起使真皮与表皮接触面加大，利于感受刺激及表皮的物质交换。乳头层深面为网状层，含粗大胶原纤维和弹性纤维，使皮肤具有韧性和弹性，此层有较大的血管，淋巴管、汗腺、皮脂腺、毛囊和神经

末梢，能感受痛、压、触、温度等刺激。

【皮下组织】又称浅筋膜。皮肤深层的组织。主要由疏松结缔组织、脂肪组织组成。其中弹性纤维和胶原纤维与真皮中的相连，它将皮肤与肌肉连接起来。若皮下组织的纤维成分多，皮肤可动性较小；纤维成分少，皮肤可动性大。身体某些部位皮下组织厚，如腹部可厚 3 厘米。皮下组织所含脂肪量随年龄、性别、身体部位而不同。青春期，女性的乳房、臀部、上臂内侧的皮下脂肪较多，男性皮下脂肪较少。

【指（趾）甲】生长在人类和灵长类指（趾）端的长方形角质薄片。由表皮角质层特化形成。露在外面的部分称甲体，薄而透明。甲体下面皮肤称甲床，其中的毛细血管使指甲透出淡红色。甲体基部，隐蔽在皮肤下面的部分称甲根。它底下的甲床特别增厚为甲基质，细胞增殖能力很强，是指（趾）甲的生发点，新的细胞不断加入甲根，使甲体沿甲床缓慢向前推移，使指甲生长。甲体侧缘的表皮形成的皱襞称甲襞。甲襞与甲床之间称甲沟。指（趾）甲对指（趾）端起保护作用。

【汗腺】哺乳类特有的皮肤附属器，分泌汗液的单管状腺。在人类，除少数部位，如乳头、唇缘、阴茎龟头外，各处皮肤均有汗腺，但以手掌、足底最多。分泌部在真皮深部或皮下组织盘曲成团，分泌物主要成分为水、尿素、氯化钠等，导管开口于皮肤表面的汗孔。汗液可湿润表皮角质层，它的蒸发可协助散热，以调节体温。排出无机离子，可调节水盐平衡。还排出代谢终产物尿素等，使皮肤表面为弱酸性，限制细菌繁殖。腋下、乳晕、阴部、肛门周

围汗腺较大，称为大汗腺，在青春期较发达。分泌物是较浓的乳状液，在细菌作用下，发生臭味，称狐臭。汗腺受交感神经支配，但它节后纤维的递质为乙酰胆碱。当环境温度 30—35℃ 时，反射性引起汗液分泌增加，称温热性发汗。而控制面部、手、足汗腺的节后纤维递质为去甲肾上腺素，当精神紧张时，这些部位出汗增加，称精神性出汗（又称出冷汗），它不受环境温度影响。

【毛】哺乳类特有的皮肤附属器，有保护和御寒作用。由表皮演化而来，分粗毛和柔毛，柔毛可作裘，粗毛在工业上应用。人体体表除手掌、足底等处外，均有毛分布。四肢、躯干毛最细，头发最粗。每根毛发分为毛干与毛根。毛干露在皮肤外，毛根外被毛囊，埋在皮肤内。毛囊下端的膨大称毛球。毛球底部凹陷称毛乳头，毛乳头有血管、神经，对毛球起营养作用。毛球的细胞增生能力很强，是毛发生长点。毛球内有黑色素细胞，它合成的黑色素小体进入毛发细胞，使毛发呈黑色。不含黑色素小体的毛发为亚麻色和灰白色。灰白色毛发的细胞间还含有不等量空气。竖毛肌是真皮内的斜行平滑肌束，它一端附于毛囊，一端止于真皮乳头。受交感神经控制，收缩时可使毛发直立。

【皮脂腺】哺乳类特有的皮肤附属器，分泌皮脂的泡状型有管腺。多位于毛囊与竖毛肌之间，为分枝或不分枝泡状腺。头皮、前额、颊部、鼻翼、脊背正中线上、外阴周围分布最多。腺细胞胞质形成脂滴，细胞核萎缩退化。成熟时，细胞解体，连同脂滴一併排到管腔。竖毛肌的收缩协助皮脂排出。腺体的基细胞不断分裂，补充分泌细胞。皮脂可使皮肤、毛发柔润，阻止皮肤水分的过分蒸发。皮脂腺的分泌受雄激素和肾上腺皮质激素控制。青春期分泌

旺盛，分泌或排出异常时形成痤疮。老年人皮脂腺萎缩，皮肤和毛发干燥，失去光泽。

【体温调节】通过神经系统和内分泌系统调节体温的过程。根据动物调节体温的能力分变温动物（冷血动物）和恒温动物（温血动物）。变温动物在小的气温范围内，体温随环境温度而改变，它通过行为调节体温。气温过高，它到阴凉处，气温过低，就到阳光下取暖或入洞穴冬眠。鸟类与哺乳类为恒温动物，通过调节产热和散热过程维持体温恒定。生物进行新陈代谢，物质氧化分解放出能量，一部分供机体各种活动需要，一部分以热能形式散出。骨骼肌和肝脏是重要的产热器官。另外，基础代谢和食物特殊动力作用也产生热量。交感神经的兴奋和甲状腺与肾上腺髓质激素都能增加机体的产热量。机体通过皮肤以物理方式（传导、辐射、对流、蒸发）散失体热。外界温度作用于皮肤温度感受器，反射性地使皮肤血管舒缩，改变皮肤温度。寒冷时，血管收缩，皮肤温度下降，减少散热；温热时，血管舒张，皮肤温度升高，加强散热。当气温 35°C 以上，出汗就是唯一的散热方式。机体内、外环境温度的变化作用于各部位温度感受器，通过神经与内分泌的信息，作用于体温调节中枢，基本中枢在下丘脑。视交叉后方的下丘脑较靠前侧的部位主要促进散热，较靠后侧部位促进产热，两个中枢整合，可改变机体产热与散热过程，使体温维持在恒定水平，有人认为：视前区——下丘脑前部的中枢性温度感觉神经元起调定点作用，它类似恒温器调节。可通过反馈机制影响产热或散热过程，使体温维持在 37°C 。

运动系统

【运动系统】由骨、骨连结和骨骼肌组成，完成运动、支持和保护机体的器官系统。骨与骨骼肌均来自中胚层。绝大多数骨骼肌附着在骨上，少数附着在皮肤、软骨、韧带或其他肌肉上面。在神经冲动刺激下产生收缩。在四肢，骨骼肌跨越可动骨连结，收缩时牵动骨产生运动，骨起杠杆作用，可动骨连结是杠杆系统的支点。骨骼肌收缩还产生面部表情、咀嚼运动、肋骨运动等局部动作。骨、软骨和骨连结组成骨骼，形成身体的支架，保护重要器官，头骨围成的颅腔保护脑，脊柱的椎管保护脊髓，胸廓中藏有心、肺重要脏器，骨盆中有泌尿生殖器官。骨髓腔中的红骨髓是产生红细胞和白细胞的场所。骨质还是钙和磷的储存场所。骨骼肌持续和轮替收缩是维持身体各种姿势的基础，它也是机体重要的产热器官。

【颅骨】属中轴骨。人的颅骨分脑颅骨、面颅骨、听骨和舌骨。脑颅骨包括枕骨、蝶骨、额骨、筛骨各一块，顶骨、颞骨各二块，八块脑颅骨围成颅腔。枕骨底的中央有一大孔，称枕骨大孔，脑与脊髓在此相连。孔两侧有突起称枕骨髁，与第一颈椎上面形成关节。颅腔内的底面有三个梯状的窝。颅前窝主要由额骨、筛骨构成，容纳大脑半球的额叶。筛骨是颅腔与鼻腔分界骨，其水平板上有许多孔，称为筛板，嗅神经由此穿入。颅中窝主要由蝶骨、颞骨构成，容纳大脑颞叶。蝶骨体的中部有蝶鞍，上面的垂体窝容

纳垂体。颅后窝主要由枕骨、颞骨构成，容纳小脑、脑桥和延髓。颅底的孔、管和裂隙是脑神经和血管穿过的地方。额、顶、颞、枕骨构成颅腔四壁与顶，各骨之间以结缔组织相连。新生儿骨之间骨缝较大，称囟。在额骨与顶骨间有额囟（前囟），顶骨与枕骨间为枕囟（后囟），侧面还有蝶囟与乳突囟。这利于分娩时婴儿头颅稍变形后通过产道。额囟闭合最晚，约在一岁半左右才完全闭合。以后，骨之间形成锯齿状骨缝。面颅骨共 14 块，包括上颌骨、颧骨、腭骨、鼻骨、泪骨、下鼻甲骨各二块，下颌骨、犁骨各一块，分别围成眼眶、鼻腔和口腔，并形成面部支架。下颌骨是颅骨中唯一能活动的骨，它的关节突与颞骨形成关节。额骨、蝶骨、筛骨、上颌骨的骨质中有空腔称鼻旁窦，与鼻腔相通。颞骨的外耳孔后方为乳突，其中的空腔只与中耳腔相通。这些空腔可减轻头骨重量。听骨在中耳腔内，左右各三块，即锤骨、砧骨、镫骨。舌骨一块，呈“V”形，在舌根部，借韧带悬在颞骨下面细长的茎突上。

【躯干骨】属中轴骨。分脊柱、肋骨、胸骨。人的脊柱在躯干背侧，俗称脊梁。由 26 块骨构成：颈椎 7 块、胸椎 12 块、腰椎 5 块、骶骨 1 块（由 5 个骶椎合成）、尾骨 1 块（由 4—5 个尾椎合成）。新生儿脊柱呈突向后的弧形，由于抬头出现颈曲，坐与站立出现腰曲，侧面观有四个弯曲。颈曲、腰曲突向前，胸曲、骶曲突向后，形似弹簧，可减少行走时对脑的震荡，也利于身体重心的维持。各脊椎骨形状、大小不同，但基本上每个椎骨包括椎体和椎弓。椎体在前，各椎体之间以韧带和椎间盘相连。椎间盘中央的弹性胶状物称髓核，外周是同心圆排列的纤维软骨称纤维环，既连结椎体又可缓冲震荡。椎弓在后方，中间为椎孔，各椎骨的椎孔相连

成椎管，内有脊髓。相邻椎骨间借椎弓上突起，互相形成关节，使脊柱也能作各种方向的运动。相邻两个椎骨间的侧面有椎间孔，脊神经由此穿出。肋骨 12 对，后端与椎骨形成关节。1—7 肋前端借软骨与胸骨相连，称真肋。8—12 肋不与胸骨直接相连，称假肋。第 8—10 肋前端借肋软骨与上一个肋软骨连结，形成肋弓，第 11—12 肋前端游离，称浮肋。每条肋骨内下缘有沟，是肋间神经和血管所在处。胸骨为扁骨，从上到下分柄、体和剑突三部分。柄与体相接处微向前突，称胸骨角，在体表可触摸到。它的侧方是第二肋软骨，下为第二肋间，是计数肋的重要骨性标志。胸骨、肋骨、胸椎围成胸廓，保护心、肺等脏器，并参与呼吸运动。

【上肢骨】人的上肢骨是灵活运动的劳动器官。与躯干相连结的部分为上肢带骨，有肩胛骨与锁骨各一块。锁骨呈“~”形，在胸廓上方，与胸骨构成关节。肩胛骨在上背部，是三角形扁骨，它与锁骨构成关节，由肌肉固定它的位置。肩胛骨的肩峰是肩部的最高点，它下面的窝称肩胛盂，与上臂骨的肱骨头形成肩关节，此关节灵活性大，可作多样、大幅度的运动，但关节囊薄而松弛，故易脱臼。上肢骨还包括上臂骨、前臂骨、腕骨、掌骨、指骨。上臂骨（肱骨）一块，肱骨头与其体交界处稍细，称外科颈，是骨折易发部位。肱骨下端外侧小头与桡骨相关节，内侧的滑车与尺骨相关节，前臂骨二块，大指侧为桡骨，小指侧为尺骨。腕骨八块，两行排列，能承受较大压力，关节面多，运动复杂但幅度较小。掌骨五块、桡侧为第一掌骨，尺侧为第五掌骨。指骨 14 块，拇指为两节，其余均为三节。

【下肢骨】人的下肢骨粗大，支持与移动身体。与躯干相连的下肢

带骨为髌骨，由髌骨、坐骨、耻骨愈合而成。髌骨位于上部，它的上缘肥厚，称髌嵴，前端有髌前上棘，后端有髌后上棘。耻骨位前下部，两耻骨在中线相连成耻骨联合。坐骨位于后下部，它的最低处肥厚而粗糙，为坐骨结节，在臀部皮下可摸到。髌骨外面有一关节窝称髌臼，与股骨头成关节称髌关节，它的活动幅度不及肩关节，但牢固，有支持作用。由骶骨、尾骨、左右髌骨连结形成骨盆，它支持保护盆内脏器，并将上身体重传导到下肢。从青春期开始，骨盆开始有性别差异，男性骨盆窄而长、漏斗形。女性宽而短、圆桶形，下口较宽大，与妊娠和分娩机能有关。下肢骨还包括大腿骨、髌骨、小腿骨、跗骨、跖骨、趾骨。大腿骨（股骨）1块，是全身最长的骨。髌骨（膝盖骨）1块。小腿骨2块，胫骨在内，腓骨在外。胫骨、髌骨、股骨组成膝关节。跗骨7块分两行排列，其中距骨的下外方为跟骨，跟骨后方的坚硬部为脚跟。跖骨五块。趾骨14块，大趾2块，其他每一趾为3块。足部骨骼和韧带在足跖中部形成足弓，使足底神经和血管免受压迫，具有弹性，减少行走时对头部的震荡。足弓不显的称扁平足。

【骨连结】骨与骨之间的连结。全身各骨连接构成骨骼。骨连结分直接连结与间接连结。直接连结的一种是骨与骨之间由结缔组织膜相连，如颅骨之间的骨缝。一种由软骨相连，如椎体之间的椎间盘，耻骨之间的耻骨联合。它们中间无间隙，不能活动或仅有少许活动。间接连结又称关节，由两块或两块以上的骨构成，中间有间隙。结构包括：（1）关节面，是相邻两骨互相连结的面，上面复盖关节软骨，可增加弹性，减少运动时摩擦和冲击，有缓冲作用。（2）关节囊，附在关节面周围，并与骨膜相延续，外层为纤维层，是致密结缔组织膜，很坚韧，有丰富血管和神经。内层

为滑膜层，是疏松结缔组织，紧贴纤维层，分泌蛋清样滑液，能润滑关节。(3) 关节腔，关节囊内的空腔，内有滑液，腔内为负压，对关节稳固性起一定作用。不同功能的关节还有些辅助结构，如：(1) 韧带，由致密结缔组织构成，在关节囊外或囊内，可增加关节稳固性。(2) 关节盘，位两个关节软骨间的软骨板，使关节面更适合，以增加稳固性，减小冲击和震荡。膝关节囊内的交叉韧带和半月板可增加关节的稳固性。

【骨骼肌】绝大多数附在骨骼上，受躯体神经控制，产生随意运动。一块肌肉分为腱性与肌性两部分。腱性部分由致密结缔组织组成，不能收缩，呈索状的称肌腱，呈片状的称腱膜。肌肉通常附在邻近的二块或二块以上的骨面上，跨越一个或一个以上关节。收缩时使关节产生运动。运动过程中，相对固定的一点称肌肉起点或固定点，通常是接近身体正中线的附着点。相对活动的一点称肌肉止点或动点。不同运动中，起点与止点常互相调换。肌性部分由骨骼肌细胞（肌纤维）组成，为横纹肌，能收缩。肌纤维间有少量结缔组织，称为肌内膜，许多平行排列的肌纤维组成肌束，每一肌束外面结缔组织膜称肌束膜，许多肌束组成一整块肌肉，外面结缔组织称肌外膜。这些结缔组织中有血管和神经分布。因此，一块肌肉就是一个器官。骨骼肌分为红肌、白肌、中间肌。红肌纤维含较多肌红蛋白和丰富线粒体，收缩缓慢而持久，如鸟的翼肌。白肌纤维含肌红蛋白和线粒体均少，收缩迅速力量大，但不持久，易疲劳，如鸡的胸肌。两种类型之间为中间型。人的骨骼肌由三种肌纤维混合组成。

【肌的辅助装置】在肌的周围，保护与辅助肌活动的结构。包括筋

膜、滑膜囊、腱鞘和籽骨。筋膜分浅筋膜和深筋膜，前者即皮下组织，后者由致密结缔组织构成，包裹肌、血管和神经，分隔肌群和各个肌，保证其单独收缩，避免相互摩擦。滑膜囊是封闭的结缔组织囊，内有滑液，位于肌腱与骨面接触部位，可减少彼此的摩擦。腱鞘是套在长的肌腱表面的鞘管。外层为纤维层，内层为滑膜层。后者是双层圆筒形鞘，两层间有少量滑液。肌腱在这个鞘内能自由滑动，又减少与骨面摩擦。腱鞘存在腕、踝、手指、足趾活动性较大的部位。籽骨是肌腱骨化成的结构，可消除肌腱与骨面的摩擦，并转变施力方向。髌骨是人体最大的籽骨。

【运动单位】指一个运动神经元与它所支配的全部肌纤维，是运动系统的机能单位。它们同时活动或同时静息。运动单位的大小差异很大。如四肢肌肉，一个运动神经元平均支配 400—700 条肌纤维，而精细运动的眼外肌，每一运动单位支配 10 条左右肌纤维。在一块肌肉内，一个运动单位支配的肌肉范围与其他运动单位支配的范围常互相交错。猫的腓肠肌有 430 个运动单位。脑与脊髓的运动神经元轴突末梢分枝与肌纤维相接触的部位形成特殊突触，称神经肌肉接头。

【神经肌肉接头】又称运动终板。在接头部位，神经纤维末端的膜称为接头前膜，肌纤维的膜称为接头后膜（终板膜），膜上有乙酰胆碱受体。两膜之间有 200—500 埃（ $\text{\AA}$ ）的间隙，称接头间隙，内充满液体，也含少量胆碱酯酶。运动神经末梢胞浆内有许多突触小泡和线粒体，小泡内含有乙酰胆碱。当神经冲动传到运动终板时，神经末梢对 Ca^{2+} 通透性增加， Ca^{2+} 进入神经末梢内，使突触小泡释放乙酰胆碱到接头间隙，弥散到终板膜，与乙酰胆碱受

体结合后，使终板膜对 Na^+ 、 K^+ 通透性增高，膜去极化，出现的局部电位变化，称终板电位，当它达到一定电位差时，形成扩布性动作电位。肌纤维兴奋，通过兴奋收缩偶联，肌肉产生收缩。乙酰胆碱释放后 1—2 毫秒内，就被终板膜上胆碱酯酶水解，终板上极化状态迅速恢复，使下一次兴奋的传递继续进行。有机磷农药可抑制胆碱酯酶，终板部位乙酰胆碱持续积聚，使肌肉持续收缩，称抽搐。若呼吸肌出现抽搐，能危及性命。若用药物，如箭毒（骨骼肌松弛药）占据乙酰胆碱受体，乙酰胆碱不能与受体作用，会导致运动终板兴奋传递障碍，表现为骨骼肌麻痹。

【肌肉收缩】肌肉兴奋的表现形式。无论收缩或松弛都需要能量供应。肌肉中贮存的三磷酸腺苷（ATP）是能量的直接供应者。ATP 分解为二磷酸腺苷（ADP）和磷酸根并产生能量。肌肉中的磷酸肌酸分解产生的能量供 ADP 恢复为 ATP 之用。但这两种物质含量有限，只够几秒钟剧烈活动之用。最终能量来源于肌糖原与脂肪酸的氧化。肌肉松弛时氧供应充足，肌糖原可直接氧化为二氧化碳和水，并释放能量。剧烈运动时，氧供应不足，肌糖原进行无氧酵解，产生乳酸，释放的能量少。乳酸在肌肉中蓄积过多，会使人感到酸胀和疲劳。肌肉收缩使长度迅速变短，但张力不变的，称为等张收缩，如屈肘。若肌肉收缩，长度无变化，张力增加，称为等长收缩，如用力握拳，用握力计可测出张力大小。一般躯体运动都是两种收缩不同程度的综合。在机体内，肌肉收缩是在神经系统控制下完成的。神经冲动一般为 50—200 次/秒，肌肉前一次收缩还未结束，又产生第二、三……次收缩，因此肌肉始终处于持续收缩状态，称为强直收缩。机体中肌肉收缩，都是不同程度的强直收缩。

【滑行学说】解释肌纤维缩短机理的学说。肌纤维胞质中有很多肌原纤维，它由粗肌丝与细肌丝组成，排列整齐，使肌纤维呈现横纹。暗带为双折光性，中间较浅为H带。明带为单折光性，中间深线为Z线。相邻两Z线之间节段为肌节，它是骨骼肌形态与功能的单位。肌膜在Z线水平陷入肌细胞内，与肌原纤维垂直形成横管。与肌原纤维平行的纵小管组成肌质网，在Z线两侧膨大为终末池，它是贮存和释放 Ca^{2+} 的地方。肌肉兴奋时，动作电位沿横小管膜传到肌细胞内部，使终末池释放 Ca^{2+} 到肌浆中，引起一系列复杂变化。使细肌丝向暗带滑动，H带变短，肌节长度缩小，整个肌纤维缩短，肌肉产生收缩。由于钙泵作用， Ca^{2+} 重新被纵小管吸收，又贮存到终末池内。粗、细肌丝相对位置复原，H带恢复原长，肌肉松弛。肌肉兴奋引起了肌肉的缩短，这是一个连续复杂的过程，此过程又称兴奋——收缩偶联。

【肌紧张】又称肌张力。骨骼肌的一种轻度持续收缩状态。在脑和脊髓中枢神经系统控制下，骨骼肌受重力牵拉，通过肌肉本身的感受器（肌梭）将冲动传到中枢，反射性使受牵拉的同一块肌肉的不同运动单位轮替收缩。各运动单位不易疲劳，收缩力量不大，没有明显的动作，是维持躯体姿势最基本的反射活动。其他躯体运动都是在肌紧张基础上进行的。屈肌与伸肌都有肌紧张，但由于人体的直立，伸肌肌紧张起主要作用。睡眠或麻醉状态下，肌紧张减弱或消失。

【腱反射】叩击肌腱，骨骼肌产生短促而强烈的收缩。与肌紧张同属牵张反射。在中枢存在下，叩击肌腱，兴奋肌梭感受器，反射

地使同一块肌肉所有的运动单位兴奋，全部肌纤维同时收缩。其动作迅速，收缩力量大，有明显动作，收缩后立即停止。如叩击膝关节髌骨下的股四头肌肌腱，股四头肌产生一次快速收缩，称膝跳反射。每一种腱反射都有固定的反射通路和中枢，腱反射检查是神经功能系统的临床重要检查之一。

【头肌】包括表情肌和咀嚼肌。表情肌多起于颅骨的不同部位，止于面部皮肤，属于皮肤肌。收缩时可开大或闭合口裂、眼裂和鼻孔，牵动皮肤显出各种表情，并参与语言活动。如额部皮下的额肌，收缩时可扬眉，使额部皮肤出现皱纹。口周围的环形肌称口轮匝肌，收缩时使口闭合。咀嚼肌主要有咬肌和颞肌。咬肌起自颧骨颧弓，止于下颌支和下颌角外面。颞肌起自颞窝，止于下颌骨，收缩可使下颌骨上提，上下颌牙齿相互咬合，产生咀嚼运动。

【躯干肌】包括背肌、颈肌、胸肌、腹肌、膈肌。背肌是位于躯干后面的肌群，斜方肌起于枕骨、项韧带、胸椎棘突，止于肩胛冈、锁骨外 $1/3$ ，左右两肌合成斜方形，收缩时使肩胛骨向脊柱靠拢，上部肌束收缩提肩，下部肌束收缩降肩，两侧同时收缩可使头后仰。背阔肌位于背的下半部及胸的后外侧，止于肱骨上端，可使肱骨内收、后伸、旋内，当上肢上举固定时，可引体向上。颈部肌肉如胸锁乳突肌，位于颈部两侧，起于胸骨、锁骨，止于颞骨乳突。一侧收缩使头向同侧倾斜，脸转向对侧，两侧收缩使头后仰。胸大肌在胸前，呈扇形，起于胸廓外面，止于肱骨上端，可使肱骨内收和旋内，上肢固定时可上提躯干，也可上提肋骨，加强吸气。肋骨之间的肋间外肌为吸气肌，肋间内肌为呼气肌。膈肌分隔胸腔与腹腔，起自胸廓下口，止于中心的腱膜，肌束在外

周，为圆顶状。腹前壁、侧壁、后壁的大部分均为腹肌构成。腹直肌起于耻骨，止于胸骨剑突和 5—7 肋软骨，是腹壁最前面的直肌。与腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌共同支持腹内器官，帮助呼吸，增加腹内压，协助排便，并可屈和旋转躯干。这些肌的腱膜在腹前壁正中成腹白线。腹外斜肌腱膜下缘增厚，为腹股沟韧带。其上方的肌间隙为腹股沟管，是男性睾丸由腹腔下降到阴囊通过的间隙。

【上肢肌】包括上肢带肌、臂肌、前臂肌和手肌。上肢带肌都起自上肢带骨，止于肱骨，在肩关节周围，能运动与加固肩关节。如三角肌呈三角形，起于肩胛骨与锁骨，止于肱骨，复盖肱骨上端，可外展上臂，常是肌肉注射的部位。肱二头肌在上臂前面，起于肩胛骨，有二个头，止于桡骨，可屈肘，协助屈肩关节。肱肌起于肱骨前面下部，止于尺骨，可屈肘。肱三头肌在上臂后面，起于肩胛骨和肱骨，有三个头，止于尺骨，可伸肘。以肘的屈伸而言，肱二头肌与肱三头肌为拮抗肌。肱二头肌与肱肌为协同肌。前臂肌在尺骨与桡骨周围，肌腹位于近侧，细长的肌腱位于远侧，可运动腕关节，使前臂旋内、旋外等。活动手指的肌肉来自前臂长腱及短小的手肌，可运动指关节及拇指对掌等。

【下肢肌】包括髋肌、大腿肌、小腿肌、足肌。髋肌起自骨盆内、外面，越过髋关节止于股骨上部。臀大肌位于臀后部，起自髂骨和骶骨，止于股骨，运动髋关节使大腿伸直与外旋，维持直立，是通常肌肉注射的部位。在它的深面还有臀中肌、臀小肌。在髋关节前方有腰大肌，它起于腰椎，止于股骨，可屈大腿，下肢固定时，可使躯干和骨盆前屈。大腿肌在股骨周围，缝匠肌位于股骨

前面，是全身最长的肌，起于髌骨髌前上棘，止于胫骨内侧面，可屈髋关节和膝关节。股四头肌是全身体积最大的肌肉，起于髌骨、股骨，有四个头，向下以髌韧带止于胫骨，髌骨包在髌韧带内，可屈髋关节、伸小腿，是膝关节强有力的伸肌。小腿后面有小腿三头肌，浅层腓肠肌有二个头，与深层的比目鱼肌三个头会合后，在小腿上部形成小腿肚，向下以跟腱止于跟骨结节，可屈膝关节和踝关节，二块肌肉收缩使足跟离地，站立时能固定这二个关节，防止身体前倾。足肌以足底肌为主，背部肌弱小，可运动足趾和维持足弓。

消化系统

【消化系统】完成将营养物质摄入机体内环境功能的器官系统。单细胞动物的摄食活动，在一个细胞内进行，称为胞内消化。多细胞动物逐渐形成消化管，进行胞外消化。这样，能更多的从外界环境中摄取营养物质，供给生命活动所需能量，并作为生长，修补，更新组织的原材料，有利机体的生存和发展。脊椎动物的消化系统更为复杂，包括消化管与消化腺。除消化管两端一小部分来自外胚层，大部分来自内胚层。消化腺分泌消化酶分解食物。肠壁上皮细胞吸收的简单物质进入血液或淋巴液。消化管管壁平滑肌的运动，推送食物沿消化管移动，直至将残渣排出体外。脊椎动物消化系统结构变异很大，与生活方式及食性有关。草食类肠管长，肉食类肠管短。人的消化管包括：口腔、咽、食道、胃、小肠、大肠、肛门。主要消化腺有：唾液腺、胃腺、肝、胰腺、肠

腺等。除口腔外，消化管壁主要有四层结构，由内向外包括：（1）粘膜层，衬于腔面，胃肠道粘膜层有腺体存在，小肠粘膜层有丰富的绒毛。（2）粘膜下层，由疏松结缔组织构成，有较大的血管、淋巴管和神经丛分布。（3）肌层，除咽、食道上段、肛门部为横纹肌外，其余为平滑肌，内层环行排列，外层纵行排列。两层之间有神经丛支配平滑肌的活动。某些部位环行肌加厚，形成括约肌。（4）外膜，在管壁最外层。胃肠外表面有一层浆膜，使表面润滑，便于活动。除口腔、食道上段，肛门外括约肌外，消化道都受植物性神经控制。副交感神经为迷走神经和盆神经，它们通过管壁的神经丛，控制平滑肌和腺体活动，使其兴奋性增加，活动增强，而对胃肠括约肌的作用正相反。交感神经控制管壁血管、平滑肌和腺体。交感神经兴奋，能抑制胃肠运动，但加强括约肌收缩。胃肠道平滑肌经常处于一种微弱、持续收缩状态，使消化管维持一定形态与位置。平滑肌又极富伸展性，常可比原长度伸长 2—3 倍。对电刺激不敏感，对化学刺激、温度和牵拉却很敏感。

【口腔】消化管的始端。前为上、下唇，中间为口裂。顶部为腭，前 $\frac{2}{3}$ 为硬腭，由骨和复盖的粘膜组成。后 $\frac{1}{3}$ 为软腭，由肌肉和粘膜构成。后缘中央有一突起，称悬雍垂。两侧壁为颊。口腔后部各有两片粘膜皱襞，中间窝内有腭扁桃体。再向后与咽相通。上、下颌齿槽内生长牙齿。口腔底部有舌。三对唾液腺有导管开口在口腔。口腔腔面复盖的粘膜为复层扁平上皮，较耐摩擦。

【牙齿】低等脊椎动物（鱼类和两栖类）的牙齿阻挡进入口腔中的食饵，以免漏出。而高等脊椎动物的牙齿是对食物进行机械消化

的工具，有的还是攻守的利器。它嵌在上、下颌骨的牙槽内。咀嚼肌收缩带动下颌骨运动，能对食物进行机械加工。它还对人的发音起辅助作用。一颗牙包括：露在口腔的部分为牙冠，埋在牙槽里为牙根，两者交界处为牙颈。内部的空隙为牙髓腔，腔中有牙髓，由结缔组织、神经和血管组成，发炎时可引起剧烈疼痛。牙的主体称牙本质。釉质覆盖在牙冠表面，是人体最坚硬的组织，主要成分是羟基磷灰石。牙根与牙颈表面有牙骨质。牙周围的组织为牙周组织，对牙起支持与固定作用。附在牙槽上的口腔粘膜称为牙龈。人的一生有两套牙齿，乳牙共 20 颗，一般出生后 6 个月萌出，3 岁出齐，6 岁开始换牙。第二套为恒牙，共 32 颗，6 岁左右出第一颗磨牙，约在 13—14 岁出齐，第三磨牙（智齿，迟牙）约在 17—25 岁萌出。

【舌】口腔内兼有多种功能的肌肉器官。位于口腔底，由骨骼肌组成。分舌内肌与舌外肌。舌外肌起于舌外（如下颌骨和舌骨等），止于舌内。舌内肌与舌外肌协调活动，使舌灵活运动，可搅拌和吞咽食物，辅助发音。舌下的中线有舌系带，连于口腔底，它的根部两侧有舌下腺和下颌下腺导管开口。舌表面复盖粘膜，上面有许多小突起，称舌乳头，呈丝状或钝圆形。丝状乳头浅层的细胞不断角质化脱落，与食物残渣，细菌等混合，附在舌表面，形成舌苔。健康人的舌苔为薄的淡白色。舌粘膜中有味蕾，是味觉感受器。

【咽】消化管与呼吸道的共同通道。上起颅底，下接食道，是上宽下窄的漏斗形管腔。上部前面（鼻咽部）经鼻后孔与鼻腔相通。中部（口腔部）与口腔相通。下部（喉咽部）与喉腔相通。鼻咽

部侧壁上有咽鼓管（耳咽管）开口，此管与中耳腔相通。平时关闭，当吞咽、打呵欠、喷嚏时开放。小儿的咽鼓管比成人短而平，常因咽部发炎蔓延为中耳炎。吸入气体从鼻腔经咽到呼吸气道，食物由口腔经咽到食道，形成咽交叉。

【食道】消化管的一部分。上接咽，下端穿过膈肌经贲门和胃相连。在气管与脊柱之间，成年人长约 25 厘米。有三处狭窄：咽与食道相接处；左支气管跨越食管前左方处；食道穿过膈肌处。这三处是异物滞留和肿瘤好发的部位。没有食物通过食道时，其前后壁贴近，形成 7—10 条纵行粘膜皱褶，食物通过时撑开变平。管壁粘膜是未角化的复层扁平上皮，耐摩擦，有保护作用。粘膜下层的食道腺分泌粘液，利于食团通过。食道壁的肌层，上 $1/3$ 为骨骼肌，下 $1/3$ 为平滑肌，中 $1/3$ 由骨骼肌与平滑肌混合组成。鸟类食道下端常有一段膨大，称为嗉囊，能贮存食物。其腺体分泌物可湿润食物，以利消化。鸽子的嗉囊在抚雏期间还能分泌鸽乳，以育幼鸽。

【胃】消化管的膨大部分。鸟类的胃分为前胃和砂囊。前胃能分泌消化液，与食物混合后进入砂囊，砂囊肌肉很发达，内壁有角质膜，起研磨食物的作用。哺乳类的胃在不同动物变异很大，如牛、羊等反刍类有四个小胃。瘤胃与网胃实际是食道的扩大，有贮存食物的作用。休息时再将食物重新返回口腔咀嚼，然后再送回瓣胃，最后到皱胃进行消化。人的胃位于膈下，它的位置因体型、体位、充盈情况而变化。矮胖者位置较高，瘦长者位置较低。仰卧时位置上移，直立时下降。胃的入口为贲门，与食道相接。出口为幽门，与十二指肠相接，此处环行肌发达，形成幽门括约肌。胃

的上缘凹处为胃小弯，下缘凸处为胃大弯。空胃时，粘膜形成皱褶，充盈时皱褶消失。胃壁有丰富的血管、淋巴管和神经丛，还有丰富的腺体。

【小肠】人的小肠上起幽门，下止回盲瓣。成人的全长约 5—7 米，盘曲在腹腔中下部。分为十二指肠、空肠、回肠，各部无明显界线。十二指肠长约十二个手指的横径，因而得名。呈“C”形，凹内包裹胰脏头部，与幽门相连的一段管壁较薄，粘膜光滑无环形皱褶，称十二指肠球，是溃疡好发部位。十二指肠降部的内壁上有一十二指肠大乳头，是胆总管与胰管的共同开口，上方约 1—2 厘米处有十二指肠小乳头，是副胰管开口。空肠占空回肠全长 $\frac{2}{5}$ ，主要在腹腔左上部，回肠占远侧 $\frac{3}{5}$ ，位于腹腔右下部。其中粘膜有很多环状皱褶和绒毛，扩大了吸收营养物质的表面积。绒毛内有丰富的毛细血管、毛细淋巴管。粘膜下层的肠腺可分泌消化酶与粘液。肠壁还有孤立及集合的淋巴滤泡。肠腺分泌小肠液，弱碱性，含有肠致活酶和多种消化酶，有的酶可能不是肠腺分泌，而是脱落的肠上皮细胞溶解后进入肠液的。小肠每天约有 200 克左右的上皮脱落到肠腔。离幽门越远，小肠液的分泌量越少，酶的含量也越少。

【大肠】起自回盲瓣，止于肛门的肠段。包括盲肠、阑尾、结肠、直肠。在人长约 1.5 米。除阑尾和直肠外，大肠管壁外面有三条纵肌形成的结肠带，将肠管隔成囊状突起，称结肠袋。外壁的脂肪聚集形成大小不同的突起，称肠脂垂（脂肪垂），它们可作为辨别结肠的标志。盲肠与回肠交界处有环形肌增厚，称回盲括约肌，其粘膜形成的皱襞称回盲瓣，可控制回肠内容物进入盲肠的速度，

并防止盲肠内容物逆流。在回盲瓣下方约 2 厘米处有阑尾腔开口。阑尾长约 6—8 厘米，它的位置变化较大，手术时寻认困难，但三条结肠带均在阑尾根部集中，这是寻认阑尾的可靠根据。近来证实阑尾与免疫有关。结肠分为升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠。下接直肠，直肠行程也有弯曲，它的终点为肛门。临近肛门处为直肠肛门部，其粘膜形成一些纵行皱襞，下端有一锯齿状环形线，称齿状线，此处是由单层柱状上皮过渡到复层扁平上皮的分界线。齿状线以上发生的痔为内痔，以下的为外痔。在肛门，直肠壁中环状平滑肌增厚形成肛内括约肌，由植物性神经控制。其外为骨骼肌构成的肛外括约肌，由躯体运动神经控制。

【消化腺】属外分泌腺。分为大、小两种类型。大消化腺的腺体在消化道之外，有导管开口到消化管管腔，如腮腺、胰腺、肝脏等。小消化腺分布在消化管管壁内，如食道腺、胃腺、肠腺等，分泌物也经导管排出。消化腺分泌物中有消化酶、粘液、无机盐、水分等。酶是生物催化剂，将大分子、不溶于水的复杂营养物质，分解成小分子、溶于水的简单成分。使它能透过小肠粘膜上皮进入血浆或淋巴液中。

【唾液腺】开口到口腔的消化腺。有三对：腮腺、下颌下腺、舌下腺。腮腺位于外耳道前下方，咬肌后缘，重 15—30 克，腮腺导管向前越过咬肌表面，穿过颊肌开口在正对上颌第二磨牙颊粘膜处。下颌下腺位于下颌骨内面，舌下腺位于口腔底两侧粘膜深处，它的大导管常与下颌下腺导管共同开口在舌下阜，一些小导管直接开口在舌下襞表面。腮腺分泌物稀薄，含唾液淀粉酶及少量粘液，下颌下腺分泌物含粘液和少量淀粉酶，舌下腺分泌物以粘液为主。

口腔内还有小唾液腺，大、小唾液腺的分泌物称为唾液，绝大部分为水分，还有无机盐、粘蛋白、淀粉酶、少量免疫球蛋白等，呈中性，每日约分泌 1—1.5 升。唾液可清洗口腔；湿润食物，以便吞咽；溶解食物以引起味觉；唾液粉酶将淀粉分解为糊精和麦芽糖。

【胃腺】胃内的小消化腺。有贲门腺、幽门腺、胃底腺。前二种主要分泌粘液、无机盐等，不含消化酶。胃底腺分布在胃体与胃底，是单管或分支管状腺，开口在胃小凹。包括主细胞、壁细胞、粘液细胞。主细胞（胃酶细胞）分泌胃蛋白酶原。壁细胞分泌盐酸（胃酸）和内因子。盐酸将胃蛋白酶原激活成胃蛋白酶，胃蛋白酶在酸性条件下（最适 pH 为 2），使蛋白质分解成肽、肽或多肽。胃酸可杀死细菌。酸性的环境能促进钙与铁的吸收。酸进入小肠后，可刺激胰液、胆汁、肠液的分泌。内因子是一种糖蛋白，它与维生素 B₁₂ 结合成复合物，促进回肠对维生素 B₁₂ 的吸收。恶性贫血、萎缩性胃炎、胃酸缺乏者，内因子分泌很少，影响维生素 B₁₂ 吸收，而维生素 B₁₂ 是红细胞成熟因子，因此造成贫血。腺体的粘液细胞和胃腔表面上皮均分泌粘液。它有润滑作用，使食物易通过，防止对胃壁的机械损伤。胃壁上粘液可阻止酸和胃蛋白酶对粘膜腐蚀和消化。婴幼儿胃液中还有一种凝乳酶，可使乳汁凝固，对酪蛋白有一定消化作用。

【胰腺】第二大消化腺。分为头、体、尾三部分。头部被十二指肠弯所包围，位于胃的后方，横于腹后壁，尾部抵脾脏。由外分泌腺和内分泌腺（胰岛）两部分组成。外分泌部由许多腺泡组成，小导管汇成一条横贯胰腺实质中的胰管，与胆总管共同开口于十二

指肠大乳头，在胰头上部常有副胰管开口在十二指肠小乳头。分泌的胰液经导管排入肠腔。胰液是无色、碱性液体，主要成分有碳酸氢钠和各种消化酶，如：胰淀粉酶、胰脂肪酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶等。淀粉酶不需要激活就具有活性，可分解淀粉为麦芽糖。胰脂肪酶将脂肪分解为甘油和脂肪酸。胰腺分泌胰蛋白酶原和糜蛋白酶原，它们没有活性。在肠液的肠致活酶、酸、组织液以及胰蛋白酶作用下，可使胰蛋白酶原活化，成为胰蛋白酶。在胰蛋白酶作用下，糜蛋白酶原转化为有活性的糜蛋白酶。它们均能使蛋白质水解为多肽和氨基酸。糜蛋白酶还有很强的凝乳作用。

【肝】人体最大的消化腺和物质代谢的重要场所。大部分位于右上腹部，下缘与肋弓一致，呼吸时随膈肌运动上下移动，触诊时在右肋弓下一般摸不到。成年人肝重占体重 $1/40$ — $1/50$ ，棕红色。表面有一层被膜，分左右两叶，左叶小，右叶大，上面凸隆光滑，下面凹陷不平，中间的横沟为肝门，有肝动脉、门静脉、左右肝管、神经和淋巴管出入。肝门的右前方有胆囊，呈梨形，有胆囊管通到胆总管，肝的右后方有下腔静脉。肝的结构单位是肝小叶，为多面棱柱体，长约 2 毫米，宽约 1 毫米，成人肝约有 50—100 万个肝小叶，每个肝小叶都有一条中央静脉穿过其长轴中心，以它为中轴，呈板状放射排列着肝细胞板，互相连成网状，它们之间有血窦（扩大的毛细血管网）。肝动脉是营养肝细胞的血管，门静脉收集来自消化道的静脉血，其中含丰富的营养物质，它们在肝细胞内加工。门静脉和肝动脉与血窦相通，血窦汇集到中央静脉，再入肝静脉，出肝后入下腔静脉。肝细胞不断分泌胆汁，排入肝细胞之间的胆小管内，最后汇入左右肝管→肝总管→胆总管，流入十二指肠。胆囊是胆汁储存库，容量约 50 毫升。在非消化期，

胆总管口收缩，肝细胞分泌的胆汁由胆囊管流入胆囊，它可吸收胆汁中水分和无机盐，使胆汁浓缩 4—10 倍。消化期，胆囊收缩，胆道口舒张，胆汁流入十二指肠。胆汁不含消化酶，主要成分为胆盐、胆色素、胆固醇、无机盐等。人的胆汁呈金黄色，粘稠，味苦。成年人每日分泌 0.8—1 升。肝在物质代谢中占极其重要地位。它是合成蛋白质（如白蛋白，纤维蛋白原、凝血酶原和一些凝血因子）的重要器官，又是蛋白质分解代谢的重要场所。肝是维持血糖恒定的重要器官。胆汁中的胆盐可乳化脂肪，使脂肪变为微滴、并增加脂肪酶活性。肝是脂肪酸氧化和合成的主要场所，也是维生素 A、D、E、K 等的贮存场所。某些激素发挥作用后在肝内失去活性排出体外。机体分解代谢产生的有毒物质也主要由肝解毒。如蛋白质代谢后产生的对身体有毒的物质—氨，在肝中变成无毒的尿素，经肾排出。肝的代谢活动旺盛，是机体重要的产热器官。胎儿时期，肝还有造血功能。肝是人体的“化工厂”，对维持生命有重要意义。

【口腔内消化】在口腔内进行的对食物切割、磨碎、混合的初步消化过程。由于咀嚼肌的收缩使下颌运动，带动牙齿对食物进行机械消化（物理消化）。切牙（门齿）切断食物，尖牙（犬齿）撕裂食物，磨牙研磨食物，将食物由大变小。舌肌收缩的搅拌，使食物与唾液混合，利于产生味觉。食物形成食团便于吞咽。唾液中的淀粉酶还促使淀粉分解。咀嚼是一种随意运动，它不仅改变食物物理性状，咀嚼过程中，食物对口腔感受器的机械和化学刺激，可反射地促使唾液、胃液、胰液、胆汁的分泌及胃肠运动，为以后消化创造有利条件。吞咽是食团由口腔进入食管的过程。食团刺激软腭感受器，反射地引起一系列肌肉运动。首先，软腭上举，

咽后壁前突，封闭鼻腔和咽的通道。喉上提，会厌封闭咽与气管通道，使呼吸暂停，同时食道上口张开，食团进入食道。由于食道的蠕动，将食团推送到胃中。

【胃内消化】在胃内进行的机械消化和化学消化。由于胃的运动，对食物继续进行机械消化，形成粥样的食糜。可对蛋白质进行初步化学消化。胃暂时贮存食物，并间断地向小肠排送食糜。进入胃内的食团，当胃液尚未浸入内部，唾液淀粉酶可继续发挥作用。在酸性环境下，胃蛋白酶将蛋白质分解为胨、肽、多肽和少量氨基酸。由于胃的运动（主要是蠕动和紧张性收缩），使胃液与食物混合，同时使胃内压升高，促使食糜排到十二指肠。酸性食糜进入十二指肠对粘膜的刺激，以及某些肠道激素的作用（参见“胃肠道激素”），均能抑制胃的运动和排空。随后，十二指肠的碱性消化液中和酸性食糜，并将食糜向下段推送，上述抑制因素解除，胃的运动加强，胃内压升高，又进行胃的排空。因此，胃的排空是间断地，反复进行地，直至完全排空为止。混合食物入胃后，在30分钟内就开始向十二指肠排放，4—5小时排完。流体食物比固体食物排放快。糖类食物排空快，蛋白质较慢，脂肪最慢。

【肠内消化】在肠内对粥样的食糜进行再消化过程。包括小肠内消化和大肠内消化，小肠消化过程是食物消化和吸收的重要环节。在胰液、胆汁和肠液的作用下，小肠可将食糜中的蛋白质、脂肪、糖类进行充分分解，并将大部分养份吸收。空腹时小肠运动微弱，食物进入小肠后运动增强。小肠在对食物进行充分消化后，利用肠蠕动（平滑肌的收缩与舒张）将食糜推入大肠，而后进行大肠内消化。大肠内消化是对小肠消化的食物的再消化，并将消化剩余

的残渣形成粪便。由于大肠内酸碱度和温度适宜，因此，从口腔来的细菌在此大量繁殖，它们对残渣中的蛋白质、糖类、脂肪可继续进行分解吸收。某些有毒产物被运送到肝脏解毒，部分气体成为肠气由肛门排出。除此之外，细菌通过代谢活动还合成 B 族维生素和维生素 K，由大肠肠道吸收，对机体有重要意义。小肠内消化是将食物中的小分子营养进行消化吸收，而大肠内消化是将食物中的大分子物质进行分解吸收。

【肠道吸收】消化道中的水分、无机盐、小分子营养物质透过粘膜上皮细胞进入机体内环境的过程。在口腔，只有舌下能吸收少量药物。胃吸收少量水分和酒精。小肠是各种营养物质的主要吸收部位。大肠继续吸收水分、无机盐和某些未被小肠吸收的物质。营养物质通过肠道转运到内环境分为被动转运与主动转运。被动转运包括滤过、扩散、渗透和易化扩散。水分通过渗透方式被吸收。主动转运是通过细胞膜上的转运蛋白（作为载体），将某种物质由膜的低浓度一侧移向高浓度一侧的过程，需要消耗能量，如氨基酸与单糖就通过主动运输被吸收入血。脂肪的吸收通过淋巴与血液两条途径。10 个以下碳原子的短链和中等链的脂肪酸和甘油可溶于水，通过主动运输被吸收入血。乳化的脂肪微粒（直径小于 0.5 微米）和长链脂肪酸由淋巴管通过主动运输被吸收后，再汇入血液。钠、钙、铁等离子，也都是由主动转运被吸收的。

【排粪反射】将直肠中粪便排出体外的反射。食物残渣、脱落的肠上皮细胞及大量细菌，在大肠形成粪便。由于大肠发生一种强烈的蠕动（集团运动），可迅速地将粪便推送到直肠，刺激壁内感受器，冲动经盆神经和腹下神经传到脊髓腰骶段低级排便中枢。兴

奋同时上传到大脑皮层，产生便意。若条件允许，则进行排便。这时大脑皮层使低级排便中枢兴奋性加强，通过盆神经中的副交感纤维，使直肠平滑肌收缩，肛内括约肌舒张。同时，控制肛外括约肌的阴部神经（属躯体神经）的冲动减少，肛外括约肌舒张，加上腹肌与膈肌收缩，使腹内压升高，促使粪便排出。如果条件不允许，大脑皮层使低级排便中枢抑制，直肠平滑肌舒张，肛内括约肌收缩，阴部神经继续有冲动使肛外括约肌收缩，排便暂缓进行。如果便意经常受到抑制，会使直肠对粪便的压力刺激渐渐失去正常敏感性，粪便中的水分继续被肠壁吸收，也使粪便干硬，排出困难，造成恶性循环，产生便秘。粪便是食物残渣，而不是新陈代谢终产物。因此，排粪又称排遗，以别于“排泄”的概念。

【食物中枢】控制消化机能（如进食等）的有关神经中枢。临床与动物实验证实：下丘脑与进食活动有关。大鼠实验证实：下丘脑腹内侧核有饱中枢。电刺激该中枢可使动物产生饱感，丧失食欲而拒食。若损伤此中枢可使动物食欲旺盛，摄食量大增。下丘脑腹外侧核有摄食中枢，电刺激该中枢，使动物食欲增加而过度进食。若损伤此中枢。动物即使几天没有进食，仍毫无食欲，拒绝进食。脑的边缘系统对消化机能有重要影响。如破坏猫的杏仁核会使食欲大增。埋藏电极刺激杏仁核的基底外侧核与外侧核，能抑制摄食活动。刺激杏仁核，观察到下丘脑摄食中枢电活动减少，而饱中枢电活动增加。杏仁核对下丘脑控制摄食行为的中枢有调节作用。边缘系统的一些部位还影响胃酸分泌、胃的运动等其他消化机能。

【胃肠道激素】胃肠道内分泌细胞产生的激素。在神经和局部因素

刺激下，产生活性物质，化学结构为多肽，分子量大多在 2000—5000 左右，它们通过血液或组织液影响到远处或邻近的靶细胞。除调节消化系统的活动外，有的激素还有促进生长等生理机能。已提纯并明确分子结构的胃肠道激素有：胃泌素、促胰液素、胆囊收缩素——促胰酶素、抑胃肽等。其他如血管活性肠肽、胃动素、P 物质等，还不能肯定是否真正独立的激素。迷走神经的兴奋和食物刺激，可使胃幽门部和十二指肠粘膜的 G 细胞释放胃泌素，它是由 17 个氨基酸组成的直链多肽，通过血液使胃液、胰液、胆汁分泌增加，促进胃与小肠运动和该部位的蛋白质合成及生长，对胰腺腺泡也有刺激生长的作用。脂肪作用于十二指肠粘膜，刺激产生抑胃肽，抑制胃的运动和胃液的分泌，使胃的排空减慢。这是吃油腻食物耐饿的原因。许多胃肠道激素也在脑组织中发现，如 P 物质、胆囊收缩素——促胰酶素等，这些双重分布的肽类被称为脑-肠肽。

循环系统

【心脏】推动血液在血管中流动的肌肉泵。起源于中胚层。低等脊椎动物（如鱼类）的心脏分为静脉窦、心房、心室和动脉圆锥。两栖类有左右两个心房和一个心室，静脉窦与右心房相连，右心房含静脉血、左心房含动脉血，心室内为混合血液。爬行类有二心房、一心室、心室内已出现了不完全的分隔，使心室左侧含氧多的血和右侧的缺氧血在一定程度上有所分开。鸟类与哺乳类的静脉窦演变为窦房结，心脏为二心房二心室，动脉血与静脉血完全

分开。体循环的动脉将含氧多的血供给各器官组织，使机体代谢活动水平提高。人的心脏位于胸腔内，膈肌上方，两肺之间，偏左侧，形似倒圆锥形，心尖朝向左前下方，在左第五肋间、乳头下方可触到心尖搏动。心底朝右后上方，与大血管相连，是心脏比较固定的部分。心脏稍大于本人拳头，外面裹以心包，后者是包在心脏和大血管根部的囊，由结缔组织及浆膜组成。心脏表面的心外膜，即为心包的脏层。心包外层为心包壁层，内外层间为心包腔，内含少量浆液，对心脏有保护作用，可减少心脏搏动时与周围脏器的摩擦，也防止心脏的过度扩大。心脏为中空的器官，分左、右心房与左、右心室，心房前部突出部分为心耳。左、右房之间有房中隔，左、右心室之间有室中隔，彼此不相通，若相通则为病态。动脉血与静脉血不相混。右心房与右心室相通，左心房与左心室相通。心房与心室之间有房室瓣，右侧房室瓣为三尖瓣，左侧房室瓣为二尖瓣。心室与动脉相交处有半月瓣，位于主动脉基部的为主动脉瓣，位于肺动脉基部的为肺动脉瓣。心脏的瓣膜是心内膜的皱襞，它控制着血流方向，使血液由心房流向心室，心室收缩射血到动脉，而不致逆流。心室内壁有乳头肌，借腱索与房室瓣相连，可防止瓣膜倒翻向心房。心脏壁由内向外分为心内膜、心肌层和心外膜。心肌层由心肌细胞组成，心房肌层较薄，心室肌层较厚，尤以左心室最厚。心房肌与心室肌不连续，均附着在结缔组织的纤维环上。心肌收缩使心腔缩小，产生强大压力，向动脉射血，推动血液在血管中流动。心脏壁还有一类特殊的心肌细胞，肌原纤维少，无收缩能力，但能自动产生兴奋，传导冲动的速度比普通心肌细胞快，构成心脏的传导系。

【心脏的传导系】由特化心肌细胞形成的心脏内产生和传导兴奋的

特殊结构。包括窦房结、结间束、房室交界（房室结区）、房室束和蒲肯野氏纤维。窦房结位于上腔静脉与右心房交界处的心外膜深部，它含有丰富的自律细胞，能自动去极化，自动产生兴奋的频率在 100 次/分以上。而房室交界区为 40—60 次/分，蒲肯野氏纤维为 20—40 次/分，因此窦房结是正常心脏兴奋的起搏点。它受交感神经和副交感神经的控制，使心率维持在 60—80 次/分。兴奋由窦房结发出，冲动经结间束传到心房，使心房肌收缩。同时兴奋经结间束传到房室交界，在此处传导较慢，以保证心房肌收缩之后，心室才开始收缩。兴奋传到房室束（希氏束），它分左、右束支、在室间隔下行，经蒲肯野氏纤维与普通心室肌细胞相连，使所有心室肌兴奋，产生收缩。兴奋经心脏传导系依次有节律地使心房肌、心室肌兴奋并产生收缩，推动血液循环。

【动脉】血液由心脏流向全身各器官所经过的血管。起于心室止于毛细血管。承受的压力大，管壁较厚，弹力纤维多，使其具有较大弹性。平滑肌比较发达，故具有较大舒缩性。特别是中、小动脉，分支多，数量大，在神经控制下，平滑肌舒缩改变管腔口径，可影响循环的外周阻力及所供应器官的血流量，对血压影响较大。大动脉管壁弹性大，心室射血时扩张，可缓冲对管壁的强大压力。心室舒张时，由于大动脉管壁的弹性回位，继续推动血液向前流动。这样，心室的间断射血，变为动脉管中的连续血流。动脉管壁的弹性随年龄增长逐渐减小。左心室发出的主动脉，向上分出颈总动脉、锁骨下动脉。颈总动脉再分出颈内动脉与颈外动脉，供应头部血液。左右锁骨下动脉供应上肢血液。主动脉下行经胸主动脉、腹主动脉为胸、腹腔脏器供血。向下为左右髂总动脉，又各分为髂内动脉与髂外动脉。髂内动脉分支到盆腔脏器及臀部等

处。髂外动脉下行为股动脉，供应下肢血液。

【毛细血管】连接动脉与静脉之间的极细血管，是组织细胞与血液进行物质交换的场所。呈网状分布，数量很大，除软骨、角膜、牙釉质、毛发上皮外，遍布全身各处。其管腔为3—10微米，红细胞刚能通过。管壁由一层内皮细胞组成，外侧有一薄层基膜，通透性极大。毛细血管外与组织细胞之间为组织液。在毛细血管动脉端，由于组织液生成，将血液中的氧与营养物质供给细胞。在静脉端，借组织液回流将细胞代谢产物及二氧化碳带回血液中。

【静脉】全身各器官的血液流回心脏所经过的血管。起于毛细血管，止于心房。血流较缓慢，压力较低。与相应动脉相比，管壁较薄，弹性纤维和平滑肌较少，易变形扩张，血容量较大。四肢静脉，尤其是下肢静脉，内壁上有静脉瓣，是由内膜褶皱形成的半月状小袋，袋口朝向心脏。血液流向心脏时，瓣膜开放；若血逆流，袋内充满血液，瓣膜闭锁，防止血液逆流。静脉周围的肌肉收缩与舒张，起唧筒作用，挤压静脉，有助于血流回心。心房舒张时，心房腔内压下降，吸气时胸内压下降，均吸引静脉中血流汇入心房。体循环的静脉分为浅静脉和深静脉。浅静脉在皮下，是采血、注射、输液的部位。浅静脉均汇入深静脉，深静脉与相应动脉伴行。体循环的静脉中，上腔静脉收集头、颈、上肢和胸背部的静脉血流，下腔静脉收集腹部、盆腔、下肢静脉血流，以及心脏本身的静脉均汇入右心房。而肺循环的静脉输送的是动脉血，汇入左心房。门静脉是静脉系统中的特殊血管，它的两端均为毛细血管，主要收集消化道、胰、脾的静脉血流，进入肝毛细血管，将肠道吸收的营养物质运到肝内，进行合成、解毒、储存，然后经肝静脉

入下腔静脉，返回右心房。

【肺循环】由上腔静脉、下腔静脉返回右心房的静脉血，经三尖瓣到右心室，右心室将血搏出，经肺动脉及其分支到肺泡毛细血管，通过毛细血管壁及肺泡膜，将二氧化碳排放到肺泡腔，氧被摄进血液中，毛细血管中血液转变为含氧多的动脉血，由肺静脉返回左心房。这一血液循环途径称肺循环（小循环）。通过肺循环，完成气体交换的机能。

【体循环】由左心室搏出的含氧多的动脉血，经主动脉及各中、小动脉分支到全身毛细血管（肺泡毛细血管除外），通过毛细血管供给组织细胞营养物质及氧，带走细胞代谢产物与二氧化碳，动脉血变为静脉血。毛细血管的血液再汇入小、中、大静脉，通过上腔静脉、下腔静脉及冠状窦返回右心房。这一血液循环途径称体循环（大循环）。通过体循环，完成气体交换与物质交换。心脏有节律地搏动，推动血液进行体循环与肺循环。

【冠脉循环】由冠状动脉、毛细血管、冠状静脉组成的心脏自身的血液循环。由主动脉基部发出左右冠状动脉。左冠状动脉较粗，分布在左心房、左心室、室间隔前 $\frac{2}{3}$ 和部分右心室前壁。右冠状动脉分布在右心房、右心室和室间隔后 $\frac{1}{3}$ 和左心室后壁。心肌的毛细血管很丰富，每根心肌纤维几乎都伴有一条毛细血管。在心肌横切面上，每平方毫米内约有 2500 根毛细血管，以满足心肌细胞旺盛的物质交换。毛细血管汇集成静脉，大部分静脉先汇入位于心底、左心房与左心室间冠状沟的冠状窦。冠状窦开口于右心房。心壁内一些小静脉直接开口于右心房和右心室。心肌代谢

主要的能源来自脂肪酸，其次为葡萄糖、乳酸等，并依靠氧化代谢提供能量。心肌耗氧量较一般组织高。一般情况下，人心肌耗氧约 8—10 毫升/分钟/100 克心肌，而脑为 6 毫升，骨骼肌为 0.2 毫升。各冠状动脉分支间常有广泛的吻合，这对于血管阻塞后形成具有保护功能的侧支循环，对于保证心肌细胞的氧与物质供应，均有重要意义。

【脑循环】脑的动脉来自颈内动脉和椎动脉，它们在脑底吻合形成大脑动脉环（Willis 环），然后分出小动脉进入脑内，供应脑组织。脑的静脉血流汇入硬脑膜静脉窦，再经颈内静脉到上腔静脉返回右心房。由于脑处在颅腔中，容积相当固定，脑血管的舒缩受到一定限制。因此脑血流量的变化主要依赖颈内动脉压的变化。血压高，血流速度快，脑血流量就增加；反之，血流量则减少。供血不足，缺氧、二氧化碳过多，会引起脑血管舒张，使血流恢复正常。脑血流量增加后，供氧增加，二氧化碳被排除，脑血管又收缩，血流量逐渐减少。这种脑血管的自身调节很重要。由于脑需氧代谢率高，耗氧量大（约占全身耗氧量 20%）。神经细胞对缺氧极敏感。脑循环使脑有充足的血液供应，以保证其代谢需要。

【微循环】指微动脉、毛细血管、微静脉这一较小范围的血液循环。由于各组织器官的功能不同，微循环的组成也不同。微动脉壁上有平滑肌，受神经与体液的控制。在真毛细血管的起始部也有少量平滑肌，构成前毛细血管括约肌，受局部代谢产物，如 CO_2 的调节。平滑肌起闸门作用，控制着微循环的血流量。平时，毛细血管交替开放，静止时开放的少，代谢旺盛时毛细血管网开放增加，可增加局部血液供应。真毛细血管通透性大，血流速度很缓

慢。微动脉中血流速度约为 4.6 毫米/秒，微静脉中约为 2.6 毫米/秒，毛细血管中约为 0.5—1 毫米/秒。毛细血管分布呈网状，其密度与组织器官代谢水平相适应。代谢旺盛的器官，如心脏、肾、骨骼肌等，毛细血管很丰富。代谢低的，如骨、肌腱等，毛细血管网稀疏，与其物质交换机能相适应。微循环功能障碍或血流量减少，不能满足代谢需要，造成机能不足或衰竭，这是很多疾病产生的直接原因。

【心动周期】心脏两次收缩之间为一个心动周期。它所占的时间随心率而变化。心率快，每一心动周期短；相反，则心动周期长。若心率 75 次/分，每一心动周期占 0.8 秒。一个心动周期中，心房收缩 0.1 秒，随后舒张 0.7 秒，心房收缩结束后，心室立即收缩，占 0.3 秒，随后舒张 0.5 秒。心房心室共同舒张占 0.4 秒。心房心室的舒张时间均长于收缩时间，这有利于血流返回心脏，并使心肌充分休息不易疲劳。一个周期中，心肌收缩使心腔内压加大，成为推动血液流动的动力。而心脏瓣膜的启闭，则决定血流方向。心室收缩产生强大压力，将血射向动脉，完成泵血任务。心肌细胞的兴奋与传播有电位变化（参见“心电与心电图”），各部位的电位变化均先于心肌收缩的机械变化。由于心肌收缩和瓣膜活动，一个心动周期中有两个心音出现。参见“心音”。

【心率】单位时间心跳的频率。正常成年人安静状态为 60—100 次/分。心率有明显的个体差异，并随年龄、性别、不同生理情况而变化。经常体育锻炼和从事体力劳动者，平时心率较慢。初生儿可达 130 次/分以上，随年龄增长逐渐减慢，青春期接近成年人，女性比男性稍快。同一个人，安静或睡眠时慢，情绪激动或运动

时加快。病理情况下(如发热),心率加快。一般体温升高 1°C ,心率每分钟加快10—20次。在一定范围内,心率的增加使每分心输出量增加(参见“心输出量”)。心率增加,每一心动周期缩短,但主要是缩短了舒张期。心率过快(超过150次/分),心舒期过短,心室充盈不足,反使每搏输出量减少。

【心音】由于心脏瓣膜的活动及血流对心腔及血管撞击而产生的声音。一个心动周期中,一般可听见两个心音。心室开始收缩,由于房室瓣关闭及心室肌收缩引起的血流撞击,造成第一心音,它标志心室收缩的开始,又称心缩音,在左侧第五肋间心尖搏动处听得最清楚,音调低沉,持续时间长,占0.14—0.16秒。心室开始舒张,由于半月瓣关闭引起的振动造成第二心音,它标志心室舒张的开始,又称心舒音,在第二肋间靠胸骨左右缘听得最清楚,音调高,持续时间短,占0.08秒。心音的听诊对诊断心脏瓣膜机能有重要意义。从第一心音可检查房室瓣机能,第二心音可检查半月瓣机能。瓣膜关闭不全或狭窄会产生杂音。用仪器将心音转变为电流,放大并记录,得到心音图,能更准确地记录正常心音及精确地鉴别杂音。

【心电与心电图】兴奋在心脏产生与扩布过程的电位变化称心电;用仪器作出的记录称心电图。窦房结首先产生兴奋,兴奋沿心脏传导系传播,先后引起心房肌与心室肌兴奋。这样,按去极化、复极化、极化状态的顺序、有规律地变化着。兴奋部位(去极化)和尚未兴奋部位(极化状态)之间存在一定电位差,这些电位变化通过身体体液传至体表,可用心电图机放大并记录下来。由于心电图机测量电极与体表联接方式不同,分为标准肢体导联、加压

肢体导联和胸导联。不同导联记录的波形各有特点。典型的心电图由 P、Q、R、S、T 五个波组成。窦房结的兴奋向右心房下部及左心房传播，已兴奋部位与未兴奋部位产生的电位差形成 P 波，它反映左右心房兴奋的过程，占 0.08—0.11 秒，电位波动幅度不超过 0.25 毫伏。QRS 波群表示兴奋在心室肌的传播过程，占 0.06—0.1 秒。T 波反映心室肌恢复极化状态的过程，幅度一般为 0.1—0.8 毫伏。T 波异常表示心肌缺血或损伤。P—R 间期代表兴奋由心房传到心室所需时间，占 0.12—0.20 秒，若时间延长表明房室传导阻滞。S—T 段反映心室肌全部处于去极化状态，此时无电位差。心电图是诊断心脏疾病的重要手段之一。

【心输出量】一侧心室每次收缩向动脉射出的血量称每搏输出量，后者乘以心率为每分输出量，即是通常所指的心输出量，它是衡量心脏工作能力的指标。心输出量与体表面积成正比。安静空腹时，每平方米体表面积的心输出量称心输出指数，它随年龄而变动。10 岁时约为 4 升，成年人平均为 3 升，80 岁时约为 2.4 升。心室每次收缩并不是将腔中血液全部搏出，每次约射出 60% 的血液。心肌收缩力量愈强，射血量增加，则心室内存留血减少。正常成年人，安静时心输出量约为 5—6 升。剧烈运动时，每搏输出量和心率增加，可为正常值的 5—6 倍。心脏适应机体需要提高心输出量的能力，称心力储备。适当的体育锻炼可使心肌发达，收缩力增强，提高心力储备。心脏发生病变，心力储备减少。若安静状态心输出量已不能满足需要，就会出现心力衰竭。

【心律】心房与心室收缩的节律。在神经和体液调节下，窦房结发出兴奋，通过心脏传导系，控制心房与心室作有节律的收缩。正

常的心脏节律称窦性心律。它的速率称心率。即使在健康儿童和青年人，也可见窦房结产生的节律不均匀，吸气时心率增快，呼气时心率减慢，出现窦性心律不齐。正常人在过度疲劳、酗酒、情绪激动时，也会出现早搏。病理情况下心律失常的情况较多，常见的有早搏（参见“期前收缩”）和心房颤动。当心脏传导系产生障碍时，心房与心室收缩有不同程度脱离，使心律失调。如部分房室传导阻滞时，常有 2:1 房室传导阻滞，即心房兴奋二次，只有一次传到心室。完全房室传导阻滞时，心房与心室搏动各不相关，会使心脏泵血效率大为降低。

【期前收缩】又称早期收缩，临床上称早搏。心肌处在收缩状态时，不能再接受任何新的刺激，只有在舒张期才能接受，产生一次新的收缩。当窦房结发出兴奋使心室产生正常节律性收缩时，由于某种原因，窦房结以外的部位自动节律性增高，形成一个异位起搏点，产生一个新的刺激正好落在心室舒张期，心室能接受刺激，紧接着产生一个额外兴奋和收缩，称期前收缩。之后出现短暂的间歇，称代偿间歇。代偿间歇的产生是因为由窦房结传来的正常节律性兴奋，正好落在这次期前收缩的收缩期内，此时心室不能接受任何刺激，使窦房结发出的这次正常兴奋，不能为心室肌接受，减少了一次正常搏动，只能等窦房结再一次发出兴奋，才能使心室收缩。这就形成早搏后的间歇。精神因素，过度疲劳、滥用烟酒、某些药物、心肌局部缺血等均易产生期前收缩。

【早搏】见“期前收缩”。

【血压】血管中流动的血液对管壁的侧压力。各段血管均有血压，

常指动脉血压。它能促使血液克服阻力向前流动，为各器官组织供血。血压过低，不能保证足够血液供应全身；过高，则增加心脏射血时的阻力，严重时使心室扩大，导致心力衰竭，心输出量减少。心室收缩时，动脉血压升高，其最高值称收缩压（高压）。心室舒张时，动脉血压下降，其最低值为舒张压（低压）。收缩压与舒张压之差为脉搏压（脉压）。临床上在上臂处测定肱动脉血压。法定压力单位为千帕斯卡（kPa）（ $1\text{kPa}=7.5\text{mmHg}$ ），但习惯仍用毫米汞柱（mmHg）。安静时，中国正常成年人收缩压在100—120mmHg，舒张压在60—80mmHg，随性别和年龄而异，一般男性高于女性，老年高于幼年。但舒张压经常超过90mmHg，可认为是高血压。舒张压低于50mmHg，收缩压低于90mmHg可认为是低血压。足够的循环血量是形成血压的前提。大失血将使血压急剧下降，必须迅速补充，才能维持一定血压。心输出量增多，血压升高；相反，则血压下降，一般对收缩压影响更大些。中、小动脉管壁平滑肌在神经体液调节下收缩与舒张。特别是小动脉数量多，口径的变化对循环外周阻力影响很显著。口径变小，外周阻力大，血压升高，这对舒张压的影响更为明显。一些降压药就是解除小动脉痉挛，使外周阻力减小，降低血压的。大动脉管壁的弹性可缓冲心室射血时对管壁突然增高的压力，使收缩压不致太高，而心室舒张时又造成一定舒张压，继续推动血流，使脉压减小。若动脉弹性降低，会使脉压加大。

【脉搏】通常指动脉脉搏。左心室收缩，向主动脉射血，使主动脉扩张，心室舒张时，主动脉弹性回位。主动脉的这种搏动沿整个动脉的弹性管壁向末梢传播，形成脉搏。其速度远比血管中血流速度快。通常在手腕大拇指侧桡动脉处按摸脉搏。脉搏可反映心

脏与动脉的机能状态。如心输出量大，外周阻力小，脉压大，脉搏则洪大；相反，心输出量小，外周阻力大，脉压小，则脉细。血管壁的弹性对脉搏也有明显影响。管壁弹性大，脉搏传播速度慢，弹性小，则传播速度快。动脉硬化时，传播速度加快。脉搏频率也反映心率和心搏节律。切脉是中医学诊断疾病的手法之一。

【减压反射】调节血压的一种重要反射。机体内外环境的各种变化通过感受器、传入神经影响心血管中枢，经神经调节改变心血管的机能，以适应环境的变化。其中重要的反射是颈动脉窦与主动脉弓压力感受性反射（减压反射）。在颈内动脉接近颈外动脉处有一个膨大部分，称颈动脉窦。颈动脉窦与主动脉弓处的血管壁内，广泛存在压力感受器，对于血压变化很敏感。当血压升高时，以上部位扩张程度加大，压力感受器受到刺激发放冲动。在颈动脉窦处由第九对脑神经分支（窦神经），主动脉弓处由迷走神经的分支（主动脉神经）传到延髓的心血管中枢，使加压区（心交感中枢和缩血管中枢）兴奋性下降，控制心脏的心交感神经和控制血管的缩血管神经传出冲动减少。同时，延髓减压区（心迷走中枢）兴奋性增高，控制心脏的迷走神经传导的冲动增加。总的效应使心搏变慢，心肌收缩力减弱，心输出量减少，血管扩张，外周阻力减小，血压降低。通过神经调节，血压恢复正常水平。相反，当血压降低时，颈动脉窦与主动脉弓压力感受器兴奋性低，以上调节减弱，血压不下降。这样使血压维持在相对恒定状态。这种调节只在大量输血、输液或大失血、人由平卧位突然站立，静脉回流减少等血压迅速变化时才产生。血压的缓慢变化，如高血压患者血压持续升高，减压反射不起作用。

【肾素—血管紧张素系统】影响血压的一种体液因素。当肾脏缺血或血中钠离子降低时,可刺激肾脏中的肾小球旁器释放一种酶,称为肾素。它进入血液后,将血浆中的血管紧张素原水解为血管紧张素Ⅰ(十肽),血管紧张素Ⅰ经过肺循环时,在肺内转化酶作用下,转变为血管紧张素Ⅱ(八肽)和血管紧张素Ⅲ(七肽)。它们可加强心肌收缩力,使心率加快,血管平滑肌收缩,外周阻力增加。同时,减少肾脏对钠离子和水分的排出,使血量增加,导致血压升高。其中血管紧张素Ⅱ增高血压的效应是去甲肾上腺素的40倍。大失血时,肾素-血管紧张素系统有助于血压回升。某些肾脏疾病,会造成肾血管狭窄或痉挛,肾血流长期减少,由于肾素-血管紧张素的生成,导致肾源性高血压。

【淋巴循环】静脉系统的辅助部分。由毛细淋巴管、淋巴管、淋巴结组成。管中的液体为淋巴液(淋巴),它向心流动,最后归入静脉。毛细淋巴管位于组织间隙,常与毛细血管伴行,由单层内皮细胞组成,起始端为盲端,管壁通透性大于毛细血管,一些不易经毛细血管透过的大分子物质,如蛋白质、细菌、异物、癌细胞容易进入毛细淋巴管。过剩的组织液进入毛细淋巴管成为淋巴液。淋巴液无色透明,也含纤维蛋白原,所以在体外也能凝固。

【淋巴管】淋巴回流经过的管道。毛细淋巴管分布很广。除脑、脊髓、脾髓、骨髓、上皮、角膜、晶状体、软骨和牙釉质外,遍布全身各处。由毛细淋巴管汇合成淋巴管,管腔逐渐加粗,管壁出现平滑肌,腔壁有丰富的瓣膜,可防止淋巴液逆流。根据位置,分为皮下的浅淋巴管和与深部血管相伴行的深淋巴管。深、浅淋巴管间有小支联系。各部分淋巴管经过一系列淋巴结群后,合成较

大的淋巴干，分别汇入两条大的淋巴导管。右上肢、右上半身的汇入右淋巴导管。下肢、腹部、左上肢、左上半身的汇入胸导管（它的始端稍膨大，称为乳糜池）。胸导管、右淋巴导管分别进入左、右锁骨下静脉与颈内静脉交汇处的静脉角，最终进入上腔静脉。

【淋巴结】淋巴器官之一。灰红色，圆形或椭圆形小体，由网状内皮组织和淋巴组织组成。它凸的一侧与输入淋巴管相联，凹的一侧与输出淋巴管相联，可滤过淋巴液。细菌与异物由巨噬细胞吞噬。它能产生淋巴细胞和浆细胞，参与机体免疫反应。淋巴结数目较多，常聚集成群，位于身体较隐蔽、活动性较大之处。如：腋窝淋巴结、腹股沟淋巴结、腮腺淋巴结等。人体各器官的淋巴都引流到一定的淋巴结。当该器官发生病变时，细菌、毒素、癌细胞等沿淋巴管来到这些淋巴结，淋巴结可阻止病变扩散，这些淋巴结常会肿大疼痛。若阻截失败，病变将沿淋巴运行方向蔓延。

【脾】重要的淋巴器官。长圆形，暗红色，位于膈下、胃的左后侧，左侧 9—11 肋骨内侧。在肋弓之下，不能触及。由网状内皮细胞和淋巴细胞组成，其间有血窦，窦壁内皮细胞的内外均贴附许多巨噬细胞。胚胎时期，脾可产生各种血细胞。出生后仅能产生淋巴细胞与单核细胞，主要参与身体免疫反应。它能滤过血液，其中的巨噬细胞可吞噬血中的异物、细菌及衰老的血细胞。猫、狗等动物的脾是典型的贮血库，由于解剖结构特点，能容纳大量血细胞，需要时可加入循环血量。但正常人体，脾脏贮血量很少，仅数十毫升，不起贮血库的作用。

【胸腺】淋巴器官之一，具内分泌功能。锥体形，左右两叶不对称，位于胸骨柄后方，主动脉弓前方。新生儿胸腺重 10—15 克，青春期为 25—40 克，以后逐渐退化，成年胸腺组织被脂肪所代替。它由网状内皮细胞和淋巴细胞组成。骨髓产生的淋巴干细胞不具免疫机能，这些细胞经血液到胸腺，停留一段时间后就具有免疫机能，称 T 淋巴细胞，它能存活几个月甚至数年，当它们与抗原相遇，能生成各种免疫活性物质，产生细胞免疫。胸腺产生的激素为胸腺素，属蛋白质类。能促进 T 淋巴细胞成熟，并提高它的免疫力。

【扁桃体】淋巴器官之一。主要产生淋巴细胞和抗体，防御病菌和其他异物。在舌根粘膜内有舌扁桃体，鼻咽部有咽扁桃体，咽鼓管咽口附近有咽鼓管扁桃体，口腔后部扁桃体窝内有腭扁桃体。它们围绕在口、鼻腔、咽腔附近，形成咽淋巴环，有防御机能。其中腭扁桃体最大，通常所说扁桃腺即指它而言。由于咽部经常接触或隐藏着病菌，易遭病菌侵袭而发炎化脓，成为带菌的病灶，严重时应考虑摘除。

【内环境与自稳态】多细胞动物体内的细胞外液，细胞赖以生存的体内环境。高等动物的内环境包括：组织液、血浆、淋巴液、脑脊液等。细胞通过内环境与外界环境进行物质交换。由外界摄入的营养物质，通过消化系统的消化，变为可吸收的成分，被吸收入血。吸入的氧经肺泡入血。细胞新陈代谢产生的二氧化碳与代谢产物进入血液，分别由肺和肾排出体外。机体细胞直接与组织液进行物质交换，但组织液流动范围局限。而血浆在血管中循环运行迅速，是内环境中的活跃成分。它是沟通各部分组织液，以

及与外环境进行物质交换的主要媒介。内环境的化学成分和理化性质，如：温度、渗透压、酸碱度等，经常在一定范围内变动，但基本上处于相对恒定状态，称内环境的稳态或自稳态。它的任何变化可通过神经与体液调节，影响各器官活动，再来减少这些变化。如机体酸性代谢产物增加时，可通过呼吸系统、排泄系统的机能活动及血液中的缓冲系统，使血浆的酸碱度仍维持在pH7.35—7.45之间。如果低于这个值，就会发生酸中毒，使中枢神经系统受到抑制，甚至引起死亡。高于这个值产生碱中毒，神经系统会过度兴奋，使肌肉抽搐，最后由于呼吸肌抽搐而导致死亡。可见，内环境的相对恒定是细胞进行正常生命活动的必要条件。

【组织液】又称细胞间液。组织细胞之间的液体，是毛细血管血液与组织细胞进行物质交换的媒介，呈胶冻状，不能自由流动。在毛细血管的动脉端生成组织液，毛细血管静脉端大部分组织液返回血管中，小部分进入毛细淋巴管，成为淋巴液。从淋巴液可了解组织液成分。组织液中除蛋白质含量较少外，其他成分与血浆相似。正常情况下，组织液不断生成与回流，处于动态平衡。如果组织液生成过多，或回流受阻，组织液滞留，使组织发生肿胀，称为水肿。如炎症部位的毛细血管通透性增大，组织液生成过多而产生水肿。肾脏患病时，大量血浆蛋白从尿中丢失，或肝脏患病时产生的血浆蛋白不足，均会使血浆中由蛋白质造成的胶体渗透压降低。血浆胶体渗透压是促使组织液中水分进入血管的力量，它的降低会使水分滞留在组织间隙，形成水肿。

【血浆】血液的液体部分，血细胞生存的内环境。约占体重4—5%，

浅黄色，透明。含 90—92% 水分，8—10% 溶质。其中血浆蛋白质含量最大，占 7%，无机盐占 0.9%，其他的有机物包括单糖、氨基酸、脂类、尿素等。血浆蛋白中，以白蛋白含量最多，其分子量小，在维持血浆胶体渗透压中作用很大。纤维蛋白原分子量最大，与血液凝固有关。球蛋白主要起抗体作用。血浆蛋白还可与多种物质结合，构成复合物，协助物质在血液中运输。如一些激素、脂溶性维生素就与某些球蛋白结合而被运输。血浆中的无机盐，大多以离子状态存在，正常时含量比较稳定，否则将会影响人体的正常机能。如血钾过高会导致心搏停止，血钙过低会引起骨骼肌抽搐等。血浆中低分子物质（无机离子、尿素、葡萄糖等）造成晶体渗透压，蛋白质等大分子造成胶体渗透压，共同形成血浆渗透压，前者占绝大部分，后者占极小部分。血细胞的渗透压与血浆渗透压相等，因此能保持正常形态与功能。所以，凡是与血浆正常渗透压相同的溶液，称等渗溶液。如 0.9% 氯化钠溶液、5% 葡萄糖溶液等。血浆中有一类缓冲物质，由一个弱酸与一个带有强碱的弱酸盐组成，其中最重要的是碳酸/碳酸氢钠缓冲对。由于代谢活动，血中酸性物质（如乳酸）增加，碳酸氢钠与它作用，将它变成碳酸与乳酸钠，使酸度降低。相反，若血中碱性物质增加，碳酸与其作用变为弱酸盐，碱度即降低。由于呼吸与排泄活动的配合，使血浆中碳酸/碳酸氢钠的比率保持在 1/20 就可使血浆的酸碱度保持在 pH7.35—7.45 的正常状态。

【红细胞】即红血球。血液中有形成分之一。低等脊椎动物的红细胞有细胞核，而人与哺乳类成熟的红细胞无核。红细胞直径 6—9 微米，双凹圆盘状，中央薄，厚 1 微米，边缘厚为 2 微米，增大了细胞表面积，与其运输气体机能相适应。成熟红细胞无细胞器，

胞质中充满血红蛋白，是一种含铁的蛋白质。执行运输氧与二氧化碳的任务，对机体产生的酸碱物质起缓冲作用。中国成年女子每立方毫米血液中红细胞为 380—460 万个，平均 420 万个；成年男子为 450—550 万个，平均 500 万个；新生儿可达 600 万个。婴儿和儿童的红细胞数没有性别差异。红细胞数有生理性变动，如运动时多于安静状态，高原居民高于平原居民。成年人长骨骨骺端、不规则骨、扁骨的骨松质中的红骨髓，是生成红细胞的场所。红细胞成熟过程中，核逐渐消失。维生素 B₁₂ 和叶酸缺乏时，将延缓成熟，故称它们为红细胞成熟因子。生成血红蛋白需要蛋白质、铁及微量铜作为原料，如果缺乏会造成贫血症。红细胞生存约 120 天。衰老、受损的红细胞主要由脾、肝网状内皮细胞吞噬。血红蛋白自红细胞逸出，就丧失其机能，它分解时产生的二价铁，可作为再合成血红蛋白之用。其他转变为胆绿素、胆红素，成为胆汁成分而被排出。红细胞的生成与破坏达到平衡，使红细胞数量维持恒定。

【白细胞】又称白血球。血液的有形成分之一，无色有核的血细胞。一般较红细胞大。用染色方法可将白细胞分为两大类：一类胞质内含特殊颗粒，称粒细胞。因颗粒着色性质不同，又分为中性、酸性、碱性三种。另一类胞质中不含特殊颗粒，有淋巴细胞和单核细胞。中性粒细胞占白细胞总数 50—70%，核为 2—5 叶。单核细胞核为马蹄形，占白细胞 2—8%，它们均能作变形运动，可穿过毛细血管壁游走到炎症部位，大量吞噬细菌。单核细胞还参与免疫反应。嗜酸性粒细胞占白细胞 3—5%，患过敏性疾病或某些寄生虫病时，其数量增加。嗜碱性粒细胞占白细胞 0—1%，能产生组织胺和肝素，参与过敏反应。淋巴细胞占白细胞 25—40%，细

胞大小不一，包括 T 淋巴细胞与 B 淋巴细胞。T 淋巴细胞有赖于胸腺的存在，参与细胞免疫。B 淋巴细胞不直接依赖于胸腺的存在，参与体液免疫。正常成年人血液中白细胞总数 5000—10000 个/立方毫米，男女无差别。但运动时，妇女月经期、饭后，数量有所增加。疾病时，白细胞总数及各类白细胞百分比可发生变化。急性炎症时，白细胞总数增加，尤以中性粒细胞增加最多。慢性炎症时，淋巴细胞与单核细胞比例增加。患寄生虫病及过敏性疾病时，酸性粒细胞增多。成年人的红骨髓产生各种粒细胞、单核细胞和部分淋巴细胞。淋巴组织也产生淋巴细胞。白细胞生存期长短不一，大多数 T 淋巴细胞可存活数月至数年。大多数 B 淋巴细胞存活数日到数周。其他白细胞一般生存 1 周左右，炎症时更短些，它们在组织中游走，起防御作用后死亡。衰老的白细胞由网状内皮系统吞噬而被清除。

【血小板】血液中有形成分之一。由骨髓中巨核细胞分离形成。无完整细胞结构，没有细胞核，但有细胞器，如线粒体、微丝、微管等，胞质中的颗粒含有多种物质。血小板直径 2—4 微米，在血流中为圆形或椭圆形，染色切片上为不规则形。正常人为 10—30 万个/立方毫米。饭后、运动时、大出血后均有增加。血小板减少性紫癜患者，其数量明显减少。血小板对毛细血管内皮细胞有营养和支持机能，并有修复作用。在止血和血液凝固过程中起重要作用。血小板一般生存 7—14 天。衰老破损的血小板在脾、肝网状内皮系统中被吞噬。

【血量】体内血液的总量。约为体重的 7—8%，即每分斤体重约有 70—80 毫升血液，体重 50 公斤的人，大约有 4000 毫升血液。安

静状态时，绝大部分在心血管中迅速流动，称为循环血量。另一部分血液滞留在肝、肺、腹腔静脉、皮下静脉丛等处，流动缓慢，称为贮存血量，其中红细胞较多，以上部位称为贮血库。剧烈运动、大失血时，贮血库的血液可补充循环血量。人体总的血量是相对恒定的，它使血管保持一定充盈度，是维持血压的重要因素。若失血过多，血压即下降。大量输液或输血时，若输入量过多，血压过高，会增加心脏负担，导致心力衰竭。失血对人体的影响与失血量和失血速度有关。失血 10% 对人体无明显影响，个别会产生精神紧张性昏厥。损失的血浆水分和无机盐在 1—2 小时内可以从细胞间液中得到补偿。肝脏加速制造蛋白质，使血浆蛋白在一昼夜内恢复。失血造成的缺氧反而刺激红细胞生成，在一个月内恢复正常。失血 20%，将明显影响健康。失血 30% 会危及生命，必须抢救。失血速度越快，危害越大，缓慢失血，机体能逐步调整，危害较小。

【血型】根据血细胞膜上糖蛋白等抗原物质的类型，可将血细胞分成不同血型。红细胞、白细胞、血小板均有血型，因红细胞数量多，讲“血型”通常指红细胞血型。它在输血、法医学、人类学等实践与研究上有重要意义。1901 年兰特施泰纳首先发现人类红细胞 ABO 血型系统。目前已知人类红细胞有 15 个血型系统，但与临床关系较大的是 ABO 血型系统和 Rh 血型系统。血型是先天的，终生不变。根据遗传关系，子女的血型不一定与父母的血型相同，输血时必须做血型配合试验。

【ABO 血型系统】红细胞膜只含 A 凝集原的为 A 型，血清中含抗 B 凝集素。红细胞膜只含 B 凝集原的为 B 型，血清含抗 A 凝集素。

红细胞膜含 A 和 B 两种凝集原为 AB 型,血清中无抗 A 及抗 B 凝集素。红细胞膜 A 和 B 凝集原均缺乏的为 O 型,血清中含抗 A 和抗 B 凝集素。若含 A 凝集原的红细胞与抗 A 凝集素相遇,或含 B 凝集原的红细胞与抗 B 凝集素相遇,则会产生抗原-抗体免疫反应,使红细胞凝集成团,产生溶血,继而引起弥漫性血管内凝血,堵塞肾血管,造成肾衰竭等一系列输血反应,甚至危及性命。临床上要选用同型血输血,只在特殊情况下,才采用 O 型给血者的血液。此时,主要考虑给血者的红细胞不被受血者的血清所凝集。O 型的红细胞,A、B 两种凝集原均缺乏,不会被受血者血清凝集。而同时输入 O 型血的抗 A 和抗 B 凝集素,被受血者血浆稀释,浓度降低,一般也不致使受血者红细胞发生凝集。但要少输、慢输。若 O 型血的抗 A 与抗 B 凝集素浓度高,也难免使受血者红细胞凝集。因此采取同型血相输。输血涉及性命大事,必须慎重。必须认真进行交叉配血试验,以确定输血是否相宜。

【Rh 血型系统】用恒河猴 (Rhesus monkey) 红细胞注入豚鼠或家兔体内,使其产生抗体,再用含这种抗体的血清与人的红细胞混合,发现大部分人的红细胞具有与恒河猴相同的抗原。用恒河猴学名前二个字母命名,称为 Rh 因子。红细胞膜有 Rh 因子的,称 Rh 阳性;不含 Rh 因子,称 Rh 阴性。汉族 99% 为 Rh 阳性,阴性率只为 1%。但苗族阴性率为 12.3%,塔塔尔族为 15.8%,布依族为 8.7%,白种人为 15%。人的血清中不存在与 Rh 因子抗原起反应的天然抗体,但 Rh 阴性的人接受 Rh 阳性的血液后,可通过体液免疫产生抗 Rh 因子。第二次再输入 Rh 阳性的血液时,就产生抗原抗体反应,使红细胞凝集,产生输血反应。Rh 阴性的母亲,若孕育 Rh 阳性的胎儿,因某些原因,胎儿的红细胞进入母体,

可使母体血液产生抗 Rh 因子。当母亲第二次妊娠时，抗 Rh 因子可透过胎盘使 Rh 阳性的胎儿产生新生儿溶血。在 Rh 阴性率较高的民族中，检查 Rh 血型有重要意义。

【止血】血液不再从破损的血管流出。毛细血管或小静脉破损时，血小板首先聚集在破口处，形成栓塞堵住破口，同时释放 5 羟色胺、肾上腺素等，使局部血管平滑肌收缩，减慢血流，这更利于血小板聚集形成止血栓，并释放凝血物质，加速血液凝固。若破损小，血小板止血栓就能堵住破口，使血流止住。若伤口大，血液流出血管，发生血液凝固，形成血凝块堵塞破口。因此，止血过程除血液凝固外，还有血管收缩等因素参与。血液凝固只是止血过程的一个重要环节。

【血液凝固】血液由流动状态变为胶冻状态的过程。参与凝血的物质称为凝血因子。除血小板外，国际上以罗马数字（Ⅰ、Ⅱ……）命名凝血因子，从Ⅰ到ⅩⅢ。但因子Ⅵ是因子Ⅴ转变而来，不是一个独立因子，实际是 12 个凝血因子。除因子Ⅲ来自组织，其他均在血浆中，无活性，被激活后，才参与血凝过程。激发的途径分外源性与内源性。血管破损，凝血因子与血管外组织因子接触后活化产生的凝血过程，称外源性凝血。血管内皮损伤，由血管内因素激活凝血因子产生的凝血过程，称内源性凝血。它们是血浆中相继产生的一系列复杂化学变化。主要步骤是：原来血浆中无活性的凝血因子，由内源或外源性激发，多种凝血因子相继被激活，形成了凝血酶原激活物。在钙离子和其他因子参与下，使血浆中无活性的凝血酶原转变为凝血酶。凝血酶、钙离子和ⅩⅢ因子共同作用，使溶解状态的纤维蛋白原转变为不溶性的纤维蛋白。

白丝，它交织成网，将血细胞网罗，形成胶冻状。在血小板收缩蛋白的作用下，血块回缩变硬，挤出的透明液体，称为血清。血小板膜的磷脂，即血小板第3因子，虽不属12个凝血因子，但它为凝血酶原激活物形成，提供磷脂表面，促使血凝的进行。凡影响凝血因子生成或血凝化学变化任何一个环节的，均可延缓或加速血凝。用柠檬酸钠去除钙离子，可防止血凝。严重肝病时，肝不能制造足量的凝血酶原、纤维蛋白原和其他凝血因子，因此血液不易凝固。低温能降低酶的活性，将延缓血凝。外科手术中，用温盐水纱布按压创伤面，可加速血凝。因为适当的温度加速了化学变化，纱布的粗糙面促使血小板破裂，加速血凝。临床上可根据血凝机理，采取相应措施，以延缓或加速血液凝固。

【纤维蛋白溶解】不溶性的纤维蛋白重新成为溶解状态的过程。正常人的血管中也经常有少量纤维蛋白形成，复盖在毛细血管内膜上，维持其正常通透性。血管内皮也难免受损发炎形成局部血栓。同时纤维蛋白又不断被分解，血栓被溶解，这个过程称纤维蛋白溶解。因为血浆中存在一种纤维蛋白溶解酶原，在激活物作用下转变为纤维蛋白溶解酶，它可使不溶性的纤维蛋白转变为可溶性的降解产物。子宫、甲状腺、前列腺等处激活物含量较高，这些组织受损时激活物大量释放到血中，血小板和血管内皮也可释放，泌尿道上皮等处产生的尿激酶也是激活物。正常情况下，机体纤维蛋白形成过程与纤维蛋白溶解系统保持相对平衡，二者都处于很低的活动水平。使毛细血管有适当的通透性，不会因通透性过大造成出血或渗血，也不会因少量血栓形成而堵塞血管。

【免疫】生物个体对外来的和内在的有害因素的抵抗力。来自于拉

丁语 “Immunis”，此语具有“免除军役”、“免除赋税”之意，高等动物具有较完善的免疫系统和免疫功能。免疫系统是由主宰或执行机体免疫功能的器官、组织和细胞所组成的一个系统。免疫器官主要包括中枢免疫器官（它是免疫细胞发生、分化、成熟的场所），如骨髓、胸腺、鸟类法氏囊等和外周淋巴器官（是接受抗原刺激产生免疫应答的场所）如淋巴结、脾脏等。免疫细胞包括各类淋巴细胞、巨噬细胞、单核细胞和粒细胞等所有参与免疫反应的细胞及其前身。免疫功能主要包括三类：消灭病原微生物的抗传染免疫功能，消除体内衰老、死亡细胞的自身稳定功能和消除体内癌变细胞的免疫监视功能。根据机体免疫的针对性及获得方式，常分为非特异性免疫和特异性免疫，前者为先天性免疫，后者为后天获得性免疫，后者按其免疫过程的特点及产生免疫物质的不同，又分为体液免疫和细胞免疫。对进入机体的抗原物质，机体具有识别“自己”和“异己”的功能，并借助完整的皮肤、粘膜、唾液、泪腺等各种生理屏障、吞噬细胞的吞噬作用以及通过特异性免疫应答过程，最终排除抗原性异物，达到对机体的保护作用。在某些情况下，免疫过程亦会对机体有害，并造成生理功能障碍及组织损伤。免疫性亦指溶源性细菌具有抵抗同源噬菌体颗粒感染的能力。

【非特异性免疫】又称非特异性抵抗力，是同一物种所有正常个体共同具备的、生来就有的、对进入体内异物的防御能力。不是由特异抗原刺激而产生，其免疫力亦不针对某种特定抗原，而是对多种抗原异物产生同样的免疫效应。此种免疫力由该物种的遗传特性所决定。机体内参与的因素多样，主要包括：自然屏障如表面屏障，完整的皮肤、粘膜及其表面的多种物质（眼泪、唾液、消

化液、溶菌酶、乳酸等)；透性屏障，如血-脑屏障、血-睾屏障、胎盘屏障等；非特异性细胞因素，如巨噬细胞及单核细胞吞噬系统、嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞、血小板、肥大细胞等；非特异性体液因素，如补体系统、干扰素、 β 溶解素、组蛋白、内毒素脱毒因子等；还有炎症应答等。无脊椎动物只有非特异性免疫。在脊椎动物中非特异性免疫与特异性免疫密切相关、互不可分。

【特异性免疫】又称后天获得性免疫。在个体生活过程中，通过接受抗原刺激而获得的对相应抗原的免疫力。由特异性抗原诱发机体所产生的免疫力只对此种或少数几种具有共同特征的相应抗原发生作用。参与的器官有中枢淋巴器官，包括胸腺（是 T 淋巴细胞分化、成熟的器官），法氏囊（是禽类 B 淋巴细胞分化、成熟的器官），骨髓（是多能干细胞分化、成熟形成各种血细胞的场所，亦是人类 B 淋巴细胞分化、成熟的部位）等。还有周围免疫器官，是成熟 T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞定居与发生免疫应答的场所，如脾脏和淋巴结。参与的重要细胞有 T、B 淋巴细胞和单核吞噬细胞系。其过程包括三个阶段：即感应阶段、反应阶段和效应阶段。感应阶段：机体识别抗原并发生感应的阶段。是巨噬细胞对抗原的摄取、处理、存贮和呈递过程。大多数抗原须经巨噬细胞处理呈交，才能对 T 淋巴细胞产生有效刺激，经处理的抗原与淋巴细胞膜上的抗原识别受体发生作用，从而活化淋巴细胞，并引起相应的免疫效应。反应阶段：淋巴细胞被抗原激活后进入分化、增殖、成熟的阶段。T、B 淋巴细胞被活化，分别转变成淋巴母细胞和浆母细胞，少数细胞中途停止发育形成 T、B 记忆细胞（它们保持着获得的抗原信息，再次接触相应抗原即可迅速扩大免疫效应），多数细胞增殖、浆母细胞形成浆细胞并分泌特异性抗体参与体液免

疫,淋巴母细胞形成致敏淋巴细胞及产生淋巴因子参与细胞免疫。效应阶段:免疫效应细胞及其产物(抗体、激活T细胞、淋巴因子等)分别通过体液免疫和细胞免疫发挥效应作用。在正常情况下,特异性免疫监视对机体产生保护作用,使机体具有抗病原微生物感染的功能、自身稳定功能和免疫监视功能,但在异常情况下,亦可造成机体组织损伤或生理功能障碍,例如引起各种超敏反应、自身免疫病等。通常可利用人工方法,通过人工自动免疫(注射抗原物质如菌苗、类毒素等)或人工被动免疫(注射免疫物质如抗体、转移因子等)人为地增强机体对某种特异性抗原的免疫力,用于某些疾病的预防与治疗。

【细胞免疫】机体的重要特异性免疫功能,是T淋巴细胞被来自巨噬细胞的处理抗原激活后通过分化、增殖形成致敏淋巴细胞并发挥其免疫作用的过程。T淋巴细胞能识别存在于细胞膜表面的抗原,并在识别细胞表面异种抗原的同时,须识别自己的组织相容性抗原(引起移植排斥的抗原)才被活化。然后分化成淋巴母细胞,少数细胞停止发育形成T记忆细胞,多数继续增殖形成致敏淋巴细胞。发挥细胞免疫作用的T细胞主要有两类;一类是细胞毒T细胞或杀伤T细胞(T_c),能与靶细胞表面抗原特异性识别,从而与之结合,最终溶解破坏靶细胞;另一类为迟发型超敏T细胞(T_D),与抗原特异性结合后,被活化产生一系列淋巴因子,其种类多样,功能各异,如巨噬细胞活化因子,可活化巨噬细胞功能,增强其摄取和消除抗原的能力,有丝分裂因子,可促使未致敏淋巴细胞转化成淋巴母细胞等。因多数淋巴因子均通过淋巴细胞、单核细胞、巨噬细胞等发挥免疫作用,为区别于体液免疫而称为细胞免疫。常见的细胞免疫现象有,迟发型超敏反应、抗肿

瘤作用、同种异体移植排斥反应、对某些药物的过敏反应、对胞内寄生病原微生物的抗感染作用等。

【体液免疫】机体的重要特异性免疫功能，是由 B 淋巴细胞介导，通过抗体发挥免疫作用的过程。抗体存在于体液（如血浆、淋巴、组织浆等）中，故名。B 淋巴细胞中的少数可对游离抗原直接识别，大多数只接受 T 淋巴细胞传递的抗原而被活化，然后分化形成浆母细胞，少数细胞停止发育形成 B 记忆细胞，多数继续增殖形成浆细胞，成熟浆细胞分泌抗体。抗体是一类能与相应抗原特异性结合的免疫球蛋白，可分为 IgG、IgM、IgA、IgE、IgG 五大类。抗体可游离于体液中，亦可与细胞结合（如亲细胞抗体），通过与相应抗原特异性结合，发挥其生物学作用。如激活补体、溶解病原微生物、中和毒素、通过抗体调理作用增强吞噬功能等。通常对机体有保护作用。在某些情况下，抗体会引起超敏反应造成机体的功能障碍及组织器官损伤，例如亲细胞抗体与相应抗原再次结合，会导致某些细胞（如肥大细胞、嗜碱细胞等）释放组织胺和血管活性胺等物质，引起过敏性反应。

【T 淋巴细胞】来源于骨髓干细胞的前干细胞进入胸腺，在胸腺素及有关细胞因子的作用下衍生的淋巴细胞。其分化增殖在胸腺皮质区，并在髓质区成熟，分化为功能不同的 T 细胞亚类，按其表面抗原识别受体可分为二个亚群，将每种单一的抗原决定簇接 CD（分化簇）加编号的方式统一命名，一群为 CD_4^+ ，另一群为 CD_8^+ ，然后迁至周围淋巴组织的胸腺依赖区。在外周血中约 60% 为 CD_4^+ 亚群，20—30% 为 CD_8^+ 亚群。它们都是不均一的细胞群，具有不同功能，用单克隆抗体技术可将 CD_8^+ 分为两个亚类，即 Tc

(细胞毒性 T 细胞) 能释放介质杀死靶细胞, 和 T_s (抑制性 T 细胞) 能抑制 B 细胞产生抗体及其他淋巴细胞的应答活动; 将 CD_4^+ 分为两个亚类, 即 T_i (诱导性 T 细胞) 能诱导或促进其他淋巴细胞的活性, 和 T_H (辅助性 T 细胞), 它对抗原不产生直接效应, 而是辅助其他淋巴细胞发挥免疫效应。T 细胞能参与再循环, 为长龄淋巴细胞, 在特异性免疫中参与细胞免疫应答, 并具有调节 B 细胞的作用。

【B 淋巴细胞】在鸟类法氏囊(腔上囊)或哺乳类动物骨髓内分化、成熟的淋巴细胞。它接受特异性抗原刺激后, 可分化增殖形成体内唯一能产生抗体(免疫球蛋白分子)的浆细胞。根据 B 细胞产生抗体时是否需要 T 细胞辅助而分为“T 细胞依赖细胞”和“T 细胞非依赖细胞”两大类, 分别参与 B 细胞介导的体液免疫应答。B 细胞对 T_I —Ag (非胸腺依赖性抗原) 的应答, 如对肺炎球菌 (*Diplococcus pneumoniae*) 多糖、大肠杆菌 (*E. coli*) 脂多糖等的应答, 不需 T_H (T 辅助细胞) 的协同, 多数不需巨噬细胞参与, 不形成记忆细胞, 故不表现再次应答现象。对 T_D —Ag (胸腺依赖性抗原) 的应答, 必需 T_H 和巨噬细胞参与才能被活化, 并进而分化成产生抗体的浆细胞和记忆细胞。B 细胞的触发可分三个阶段: 静止 B 细胞活化诱导阶段(需 T_H 和巨噬细胞协助); 活化 B 细胞分裂增殖阶段(需 T 细胞释放的白细胞介素 2 和 B 细胞生长因子参与); B 细胞分化为合成和分泌抗体的浆细胞阶段(需 T 细胞释放的 B 细胞分化因子参与)。B 细胞的分化是: 胚胎早期在肝脏, 晚期至出生后则在骨髓内分化、成熟。成熟 B 细胞可离开骨髓进入外周淋巴组织, 其大部分局限在淋巴滤泡内, 只有少部分参与再循环。为短龄淋巴细胞, Ig 分子(免疫球蛋白分子)在浆细胞的

聚核糖核蛋白体上合成，分泌前通过糖基转移酶的作用加入糖质部分，最终从浆细胞中分泌至细胞外。

【回忆反应】又称回忆应答或二次反应。在第一次接受抗原刺激后的抗体下降期，机体再接触抗原可引起比初次反应高几倍至几十倍的免疫反应。由相同抗原引起的称为特异性回忆反应。由不同抗原引起的称非特异性回忆反应，例如过去曾接触过伤寒杆菌的人，在其患大叶性肺炎或肺结核等病时，其体内的伤寒杆菌抗体上升。前者产生的抗体效价高、持续时间长；后者，抗体效价低、持续时间短。回忆反应的特点是，潜伏期短（应答出现快），应答强，以 IgG 的产生为主。这种反应具有较大实际意义，例如，在机体已被病毒或细菌感染而尚未出现临床症状之前，即可由于抗体的作用而使病原微生物得以消除，保障了机体的健康；又如，利用动物（如马、羊等）来制备实用抗血清时，通常对该动物进行多次并渐次增加抗原量的免疫接种，可以获得较大量和高滴度的抗体。对人体进行预防免疫接种时，通常亦采用多次、渐次增量的接种方法。

【交叉反应】用某种抗原免疫动物所产生的特异性抗体，既能与此种抗原发生反应，又能与其它种抗原发生反应的现象。交叉反应出现可以是由于两种抗原具有共同的抗原决定簇，即是具有共同抗原，或是它们虽然决定簇不同，但在化学结构或主体构象上具有相似性。通常对非对应抗原的反应比较弱。交叉反应可用于某些疾病的检测，如外-斐氏反应常用于诊断某些立克次氏体病，是由于有些立克次氏体和某些变形杆菌具有共同交叉反应性抗原，因此用某些变形杆菌可对病人血清进行检测，常用的有变形杆菌

OX₁₉、OX₂ 和 OXK 等菌体的抗原。由于机体的某一器官与某些病原菌具有共同抗原,故患某些传染病后会引起某一器官的病变,例如,在溶血性链球菌 (*Streptococcus hemolyticus*) 感染后,常会引起肾小球肾炎。

【血清型】用抗原抗体反应方法,即血清学方法鉴定出的不同细菌或细胞类型。因抗原抗体反应具有高度特异性,因此可用已知抗原或抗体检测未知的相应抗体或抗原。在微生物分类鉴定中,常采用这种反应进行未知菌的鉴定和抗原组成的分析,即是通过制备已知菌种或抗原的抗血清,和它们与待检微生物的血清学反应,可确定未知菌种或其抗原成分。此方法具有较高的精确性和敏感性,故早已广泛应用,尤其是在肠杆菌科分类中应用甚广。如沙门氏菌 (*Salmonella*) 是人类致病菌,可引起伤寒病和败血症等,其种类甚多,抗原成分极为复杂,血清学鉴别是必不可少的方法;志贺氏菌 (*Shigella*) 也是人类的重要肠道致病菌,根据生化特征可分为四个主要的种组,根据每个种组的抗原特性,又可分为许多血清型。用于微生物分类鉴定的抗原物质,主要是存在于微生物体表面的组成成分,如鞭毛、荚膜和细胞壁多糖等。

【抗原抗体反应】抗原与特异性抗体在体外的结合反应。因抗体主要存在于血清中,此反应过程须采用血清,故又称血清学反应。此反应特异性高、敏感性强,可用已知抗原或抗体检测未知的相应抗体与抗原。依赖于抗原的不同物理性状及反应条件,而出现不同的可见反应。经典的抗原抗体反应有凝集反应、沉淀反应、补体结合反应及中和反应等。近代发展出来的更快速和更灵敏的血清学反应,例如间接凝集、凝集抑制试验、免疫电泳、对流免疫

电泳、火箭电泳以及荧光抗体法、酶联免疫吸附及免疫电镜技术等，已广泛应用于微生物学、遗传学、细胞生物学、生物化学等学科的研究，并用于体外体液免疫功能的测定，传染病的诊断、微生物的分类鉴定等。

【胚胎抗原】只存在于人胚胎组织中的抗原，在正常成人中消失。在某些癌变组织常出现反常状态，即胚胎时期的抗原又重新在成人组织器官中出现，故临床上常采用检测胚胎抗原的方法，以判断某种癌症是否发生。例如甲胎球蛋白，本是胚胎组织的产物，成人正常肝中不存在，但肝癌发生后会重新出现，因此可用于肝癌病人的早期检测。即用病人的血清与已知甲胎球蛋白抗原进行抗原抗体反应而加以判断。又如在正常人胚的胃肠组织中存在一种特殊糖蛋白抗原，在结肠癌组织中又重新出现，故此种特殊糖蛋白抗原亦用于结肠癌的诊断。

【干扰素】一类分子量为 20000—38000 之间的可溶性糖蛋白，是动物细胞在病毒或其他干扰素诱生剂（如立克次氏体、支原体、衣原体、原虫等病原体以及细菌的内毒素、外毒素等）的作用下产生的一类物质，具有保护健康细胞和抑制多种病毒增殖的作用。由艾萨克斯和林德曼于 1957 年首次发现。1980 年国际统一命名干扰素为三种类型，分别以 α 、 β 、 γ 表示，它们的细胞来源、作用强度、诱生所需时间、免疫调节作用的强度等均有所不同。干扰素不是抗体，它的抗病毒作用发生在抗体之前，除抗病毒外，还具有抗多种细胞内病原微生物和抗肿瘤作用。其主要机理不是直接灭活病毒，而是受病毒感染细胞产生的干扰素可进入其邻近健康细胞，首先与此细胞膜上干扰素受体结合，使细胞内代谢过程发

生变化，从而诱生出抗病毒蛋白，这些蛋白质具有裂解病毒 mRNA 及阻断病毒氨基酸转移等多方面作用，使进入了健康细胞的病毒不能继续增殖，从而保护了健康细胞。干扰素是当代研究的一种重要生物制品，已能用基因工程方法生产，并已不断扩大在临床上的应用。

【外毒素】有些革兰氏阳性菌在生长繁殖过程中分泌到体外的一种毒性蛋白。分子量为 27000—90000，由两种亚单位肽链组成，一种无毒，有选择亲和组织的作用；另一种是毒素的活性中心。外毒素毒性较强，可被蛋白质分解，遇酸发生变性，多数对热和某些化学物质敏感，易受破坏丧失毒性，如白喉棒状杆菌产生的白喉外毒素，加温 58—60℃ 处理 1—2 小时；破伤风梭菌产生的破伤风外毒素经 60℃，20 分钟处理，毒性均被破坏。外毒素有强的抗原性，用 0.3—0.4% 甲醛液处理后，脱毒，但仍保持抗原性。有亲组织性，能有选择性地作用于机体的组织和器官，引起特殊病变。不同病原菌产生的外毒素性质不同，侵害机体的部位不同，引起的症状也不同。根据机体的选择性和作用方式分为神经毒（如破伤风痉挛毒等）、细菌毒（如白喉毒素等）和肠毒素（如霍乱毒素等）三大类。外毒素多数由某些革兰氏阳性菌产生；少数革兰氏阴性菌也产生外毒素，如志贺氏痢疾杆菌产生神经毒素，霍乱弧菌产生肠毒素等。

【类毒素】外毒素经 0.3—0.4% 甲醛液于 39—40℃ 处理 20—30 天后，脱毒而保留其抗原性，这种经过处理的外毒素即类毒素。将类毒素注入动物体内，可刺激机体产生抗外毒素抗体（即抗毒素），起着中和毒性的作用，故可用作预防和治疗由外毒素引起的

疾病。如注射白喉类毒素可预防白喉疾病等。

【内毒素】存在于多数革兰氏阴性菌细胞壁结构上的一种毒性物质，主要成分是脂多糖，只有在菌体死亡或被裂解时才能释放出来，对热较稳定，抗原性弱，毒力较低，各种内毒素引起机体的病症基本相同，如发烧、糖代谢紊乱、脏器出血等。严重时发生中毒性休克导致死亡。内毒素有抗感染、抗辐射、抗肿瘤及增强单核巨噬细胞系统的作用。其抗体无中和毒性作用，但能与细胞壁蛋白质结合引起凝集、溶菌现象。内毒素的检测常用鲎血液变形细胞溶解物试验，此法敏感，快速。革兰氏阳性菌中只发现单核细胞增生李斯特氏菌 (*Listeria monocytogenes*) 含有内毒素。

【淋巴毒素】又称淋巴细胞毒素。淋巴因子的一种。是致敏淋巴细胞接受特异抗原或有丝分裂素（如植物血凝素、刀豆球蛋白 A 等）刺激而活化所产生的活性介质。可直接杀伤靶细胞。最初由 Granger 和 Kolb 等人于 1968 年从抗原或有丝分裂素刺激的淋巴细胞培养上清液中发现。人体有多种不同分子量及不同特性的淋巴毒素，如 α 淋巴毒素，分子量大（75000—100000），较稳定，而 β 、 γ 淋巴毒素，分子量小（10000—50000），不稳定。淋巴毒素对靶细胞的毒性均为非特异性，无种属界限。通常体外需与靶细胞共同培养 24—72 小时才能产生毒性作用，毒性强弱决定于淋巴因子的浓度及对靶细胞的敏感性。

【转移因子】淋巴因子的一种，也指在细菌接合中，将某些遗传特征（如产生大肠杆菌素、耐药性等）从供体菌转给受体菌的质粒。为致敏淋巴细胞产生的一种可透析的非蛋白性物质。最初由劳伦

斯发现,故称劳伦斯因子。含核酸和多肽,属肽-核苷酸复合物,称核糖核酸肽,约含 12 种氨基酸和数种碱基。它具有传递特异性细胞免疫的能力,即当机体再次接触相应抗原后,转移因子可引导 T 淋巴细胞迅速分化增殖,使更多 T 细胞参与细胞免疫应答,从而增强机体的免疫力,并可将某一个体的迟发型超敏反应(如对结核菌素、纯蛋白衍生物、链球菌 M 蛋白等的超敏反应)转移至另一正常个体。因其分子量小(约 4000),故无免疫原性,不引起严重有害副作用,并能冻干后长期保存,使它成为有效提高细胞免疫力的一种免疫制剂,在临床上可用于纠正免疫缺陷,用于抗癌治疗及防治某些细胞内致病菌的传染病(如麻风、结核),防治某些病毒性和真菌性疾病。

【淋巴因子】又称淋巴细胞因子。由淋巴细胞产生的抗体以外的生物活性物质的总称。在 T 细胞介导的细胞免疫应答中, T 细胞被巨噬细胞处理过的特异性抗原激活后,分化增殖形成致敏淋巴细胞,其中一类迟发型超敏性 T 细胞(T_D),再次与特异性抗原结合即被活化,产生一系列淋巴因子。它们通过吸引、活化巨噬细胞及其他类型细胞,发挥免疫效应作用。T 淋巴细胞受非特异性刺激物,如植物血凝素、纯蛋白衍生物等刺激亦可产生直接发挥免疫效应的介质。淋巴因子种类很多,在机体中的免疫效应各异,主要有:作用于巨噬细胞的有移动抑制因子、激活因子、特异性武装因子、趋化因子、移动刺激因子等;作用于淋巴细胞的有母细胞形成因子或促分裂因子、淋巴细胞趋化因子、辅助因子、抑制因子、移动因子等;作用于粒细胞的有白细胞移动抑制因子、中性粒细胞及嗜酸性粒细胞趋化因子等;作用于培养细胞的有淋巴毒素、抑制生长因子、干扰素等;在活体内起作用的还有皮肤反

应因子、巨噬细胞消失因子、转移因子等。在体外某些淋巴因子亦可用于检测细胞免疫活性或进行特异性细胞免疫力的转移（如转移因子）。

【疫苗】利用某些低毒或无毒力的病毒、立克次氏体或螺旋体等生物制备而成的、用于人工自动免疫、针对性地预防人或动物体某种疾病的生物制品。可分为二类：（1）活疫苗，注入人或动物体内，能生长繁殖一定时间，长时间刺激人或动物体产生免疫力。但是，在保存过程中易失效。（2）死疫苗，用物理和化学的方法将微生物杀死而制成。由于在人和动物体内不繁殖，其抗原性较低，免疫效果低于活疫苗，优点是易保存。可通过多种途径将疫苗接种于人或动物体内，例如，注射，划种、口服、滴鼻和点眼等，达到预防和治疗的目的，常见的疫苗有流行性乙型脑炎疫苗、狂犬病疫苗、牛痘苗和脊髓灰质炎疫苗等，疫苗在现代医学的研究中是重要的课题之一。

【被动免疫】通过免疫物质（特异性抗体、淋巴因子等）的被动转移使机体获得的免疫力。并非由机体本身产生，故免疫作用出现快而持续时间短。分为自然被动免疫和人工被动免疫。自然被动免疫：母体内抗体经胎盘传至胎儿或新生儿，使新生儿获得对某些传染病的免疫力，此种免疫力无特异性，持续时间短，通常在出生后可维持半年。在家禽饲养中，常用疫苗接种怀孕或产卵期畜禽，以提高初生动物对某些常见传染病的抵抗力。人工被动免疫：通过接种含有特异性抗体的免疫物质，如抗菌或抗病毒血清、胎盘球蛋白等及抗毒素、干扰素、转移因子等淋巴因子，使机体获得的特异性免疫力，持续时间更短，一般用于治疗或特殊情况

下用于预防。亦可通过转移淋巴细胞使机体获得免疫力，其维持时间较长。

【主动免疫】又称自动免疫。抗原物质刺激机体产生的特异性免疫力。持续时间比较长，可延续半年至数年。分为自然主动免疫和人工主动免疫。自然主动免疫：患传染病康复及隐性感染，（指其病原体在体内繁殖，但无明显临床症状的情况）后获得的免疫力。人工主动免疫：用人工方法接种灭活苗、弱毒活苗、亚单位苗、基因工程苗、类毒素等抗原物质后，机体获得的特异性免疫力，出现较慢，通常在接种后 1—2 周才产生。

【禁忌细胞系学说】又称禁忌克隆学说，是伯内特在论证细胞克隆选择学说的基础上提出的，是解释自身免疫病发病机理的一种学说。认为在胚胎期由于细胞的高度突变分化，使淋巴细胞产生具有不同特异性的细胞克隆。在胚胎期和初生期，某些细胞克隆与自身抗原或注入抗原相遇，则该细胞克隆即被破坏或抑制，称为禁忌细胞系。故成年个体内缺乏对自身抗原起反应的细胞克隆，只存在少数无反应活性的禁忌细胞系，因此体内的免疫系统只能对体内不存在的外界抗原或体内的“隐蔽”自身抗原（如精子、眼球水晶体、甲状腺球蛋白等未曾与免疫系统接触的自身抗原）起反应。在机体发生感染、外伤等情况下，“隐蔽”抗原被释放而与免疫系统接触，便引起自身免疫反应。在机体免疫功能紊乱、自身稳定功能失调时，禁忌细胞系被活化而引起自身免疫反应，造成自身免疫病。

【酶联免疫吸附法】简称免疫酶联测定。一种定量的免疫酶技术，

是用酶标记抗原或抗体的微量测定法。把待测物（抗原或抗体）制成液相，使之吸附于支持物上，如聚苯乙烯凹盘的凹窝表面或琼脂糖小珠表面，加入相应抗体或抗原，洗涤除去多余物，加入酶标记的抗 Ig 抗体，此抗体若与待检抗原或抗体相对应则相互结合，洗涤后，加入可被酶水解的底物，最终的酶促显色反应结果，可通过分光光度计测定，与已知样品浓度系列标准曲线相对照，即可对待检物定量。此法简便、快速、敏感性高、特异性强，但需选择易与抗体或抗原稳定结合、耐储存、不影响抗原抗体反应，并具清晰酶促反应的酶及相应底物。常用的酶为辣根过氧化物酶和底物邻苯二胺，还有碱性磷酸酶、酸性磷酸酶等。

【免疫测定】利用抗原与特异性抗体或特异性免疫细胞专一性结合的特点设计实验，对未知标本中微量物质进行测定的方法。如测定酶、激素、蛋白质及某些元素的含量等。此法具有高度敏感性和特异性。可测定某些标本中含量少至 $10^{-12}g$ 的微量物质。方法多样，可根据不同需求而选用。如间接凝集反应可用于检测小分子胶状抗原，间接凝集抑制试验用于检测可溶性抗原（如孕期血清、尿中人绒毛膜促性腺激素等），补体结合试验用于检测血清补体活性、未知抗体或未知可溶性抗原，此外，还有免疫扩散、免疫电泳、被动皮肤过敏反应、毒性中和反应及免疫酶技术、放射免疫测定技术、免疫荧光技术等。

呼吸系统

【呼吸】机体由外环境吸入氧排出二氧化碳的过程。有机体进行新陈代谢需要氧，用以对物质进行生物氧化，产生能量、二氧化碳和水等。能量供给机体生命活动所需，二氧化碳需要不断排出，否则会产生酸中毒。单细胞动物直接与外环境进行气体交换，而多细胞动物必须依靠呼吸器官。脊椎动物中，鱼类的鳃是主要呼吸器官。两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类动物逐步以肺作为气体交换的器官，并通过血液循环运输气体。呼吸全过程包括三个环节：（1）外呼吸。外界环境与肺毛细血管血液间的气体交换，又称肺呼吸。它包括外环境与肺泡腔的气体交换（肺通气）和肺泡气与血液间的气体交换（肺换气）。也就是从外环境吸入氧，排出二氧化碳。（2）呼吸气体在血液中的运输。将氧由肺运到组织，二氧化碳由组织运到肺。（3）内呼吸。指组织细胞摄取氧排出二氧化碳的过程。包括组织细胞与血液间的气体交换（组织换气）和组织细胞利用氧产生二氧化碳的过程（组织呼吸或生物氧化），通常内呼吸是指前者而言，组织呼吸则属生物化学范畴。

【呼吸器官】机体与外环境进行气体交换的器官。人的呼吸器官包括呼吸道和肺。呼吸道是气体进出肺的通道，由鼻、咽、喉、气管、支气管及其分支组成。临床上将鼻、咽、喉称上呼吸道，喉以下的呼吸道称下呼吸道。肺分为导管部和呼吸部，导管部是肺内的支气管分支，呼吸部包括呼吸性细支气管和肺泡，它们才具

有与血液进行气体交换的机能。

【鼻】嗅觉器官，呼吸道的起始部分。分为外鼻、鼻腔和鼻旁窦。外鼻以骨和软骨为支架，复盖少量骨骼肌和皮肤，两眼之间的突起为鼻根，下端最突处为鼻尖，鼻尖两侧的弧状突起为鼻翼，下方的开口为鼻孔。鼻中隔将鼻腔分为左右二腔，前面经鼻孔与外界相通，后而经鼻后孔通向咽腔。每侧鼻腔的前下部为鼻前庭，后部称固有鼻腔。固有鼻腔的两个外侧壁各有三个突出的鼻甲，分别称上、中、下鼻甲，其下方各形成上、中、下鼻道。鼻前庭内面衬以皮肤，有鼻毛，可过滤尘埃，净化空气。固有鼻腔内面衬有粘膜，为假复层纤毛柱状上皮。上鼻甲与其相对鼻中隔上部的粘膜为嗅粘膜，活体呈淡黄色，能感受嗅觉刺激。其余粘膜为淡红色，有丰富血管及粘液腺，可湿润、温暖、净化吸入的空气。鼻腔周围的颅骨有含气空腔，形成鼻旁窦，有：筛窦、上颌窦，蝶窦、额窦。它们与鼻腔相通，粘膜也相延续，协助温暖和湿润空气，对发音有共鸣作用。鼻腔炎症若不及时治疗，可蔓延成鼻窦炎。

【喉】呼吸通道，也是发音器官。上与咽部相通，下与气管相通。它以软骨为支架，有肌肉和韧带相连。最大的软骨为甲状软骨，构成喉的前、外侧壁。前方最突出部分为喉结。青春期开始，由于受雄性激素影响，男性喉结特别突出。甲状软骨后上方有会厌软骨，上宽下窄树叶状，前面稍突，后面略凹，是喉口的盖。甲状软骨的下方为环状软骨，形成喉的底座，是一个完整软骨环，对支撑呼吸道张开有重要作用，若损伤，可引起喉狭窄。环状软骨后上方有一对杓状软骨。环状软骨下方与气管相连。喉的腔面衬

以粘膜，侧壁上有两对粘膜皱襞，上一对称为室襞（假声带），活体呈粉红色，起保护作用；下一对称为声襞（真声带），活体色较白，声襞粘膜下有声带肌，两声襞之间的窄隙为声门裂，它是喉腔最窄部位。中国成年男性声带全长约 23 毫米，成年女性声带全长约 17 毫米。气流通过声门裂，振动声襞。可发出声音。

【气管】呼吸道的一部分。起自环状软骨下缘，向下进入胸腔，直到分为左右支气管为止。长约 9—13 厘米，直径约 1.5—2 厘米，在食道前方。管壁以 14—16 个“C”形软骨为支架，由韧带相连，缺口向后，借平滑肌和结缔组织组成的气管膜封闭，平滑肌收缩时管径缩小，它们构成管壁外膜。向内为粘膜下层，含有大量气管腺。管腔以粘膜复盖，上皮为假复层纤毛柱状上皮，中间夹有杯状细胞。杯状细胞和气管腺不断分泌少量粘液，复盖在纤毛上皮表面，既可保持粘膜湿润，还能粘着吸入的尘埃和细菌，由于纤毛的摆动，将它们推送到咽部，经咳嗽排出。气管腺分泌的粘液中含有各种免疫球蛋白，有抑菌和抗病毒的作用。

【支气管】呼吸道的一部分。约在胸骨角（参见“躯干骨”）水平处，气管分为左右支气管。右支气管粗短，长约 2—3 厘米，陡直，经气管堕入的异物易进入右支气管。左支气管长约 4—5 厘米，较细长，走向倾斜。左右支气管由肺门进入肺内，在肺内又不断分支。支气管管壁的结构与气管相似。

【肺】重要的呼吸器官。位于胸腔内，分左右两肺，均呈圆锥形，肺尖向上较钝圆，肺底在下，向上凹入，位于膈肌之上。内侧面朝向纵膈，中间凹陷处为肺门，是支气管、肺动脉、肺静脉和其

他血管、淋巴管、神经进出肺的地方，以上结构由结缔组织包裹，称肺根，连于纵隔。左肺两叶，右肺三叶。肺表面有胸膜脏层复盖，有光泽，透过它能见到多边形小区，即肺小叶的轮廓。幼儿的肺为淡红色，由于空气中的灰尘沉积，成年人的肺为兰黑色，老年人的肺颜色更深。肺实质由导管部、呼吸部、肺间质三部分组成。肺导管部是气体的通道，左右支气管由肺门进入肺实质，在肺内不断分支，可达 23—25 级，呈树枝状，称支气管树。最后成为细支气管，管径小于 1 毫米，每一细支气管与它所分布的肺组织形成一个肺小叶。随着这种分支，管腔越来越细，管壁也越来越薄，上皮变薄，纤毛、杯状细胞、腺体、软骨片逐渐减少以至消失，而平滑肌相对增多，它的舒缩对管径影响明显。迷走神经兴奋，平滑肌收缩，管腔变小，气流阻力加大；交感神经兴奋，平滑肌舒张，管腔变大，气流阻力减小。呼吸部由呼吸性细支气管、肺泡管、肺泡囊和肺泡组成，管壁很薄，是肺泡腔与血液气体交换部位。肺间质是肺小叶与肺泡间的结缔组织，有丰富毛细血管及弹性纤维、网状纤维，使肺泡具有扩张性和弹性回缩力。其中的巨噬细胞吞噬吸入肺泡的微尘后，成为尘细胞。肺有两套血管系统：肺循环系统和体循环系统，后者是营养性血管，包括支气管动脉、毛细血管网、支气管静脉。支气管动脉起于胸主动脉和肋间动脉，供给肺组织氧与营养物质。支气管静脉带走二氧化碳与代谢产物，经上腔静脉回到右心房。

【胸膜与胸膜腔】肺的表面、胸廓内表面、膈的上面、纵隔的侧面覆盖的单层扁平上皮，称为胸膜。它们在肺根处相连续，在两肺周围分别形成两个封闭的腔，称胸膜腔。腔内有少量浆液，可减少呼吸时的摩擦。由于液体的内聚力大，两层胸膜紧贴，胸膜腔

实为一个潜在的腔。但下端膈胸膜与肋骨胸膜返折处有一稍大的腔，称肋膈窦，胸膜发炎时渗出液常在此聚积。胸膜腔中的压力称胸内压，比大气压低，称为负压。它是胎儿出生后逐渐形成的，由于胸廓的发育快于肺的发育，肺又具有回缩力等因素造成的。整个呼吸过程中胸内压都低于大气压。如：平和吸气末，胸内压为 -6 至 -10mmHg ，平和呼气末为 -3 至 -5mmHg ，用力吸气时，胸内压可达 -30mmHg ，使肺始终保持扩张状态。若胸膜腔密闭性受到破坏，空气进入胸膜腔造成气胸。胸内压等于大气压，负压消失，因肺具有回缩力而坍塌，使呼吸无法进行。因此，胸内负压对于肺通气和肺换气有重要意义。

【呼吸运动】呼吸肌（肋间肌和膈肌）的收缩与舒张，使胸腔有节律地扩大和缩小，称呼吸运动。肋间肌属骨骼肌，位于肋骨之间，分肋间外肌和肋间内肌，受肋间神经（胸髓1—11节发出）控制，肋间外肌在外，纤维走向是由后上方斜向前下方，肋间内肌在内，方向正好与它相交叉。肋间外肌收缩使肋骨上举，略向外侧翻，胸腔前后、左右径扩大。而肋间内肌收缩时作用正相反，使胸腔前后径、左右径减少。膈肌属骨骼肌、位于胸腔与腹腔之间，肌腱在中央，肌纤维呈辐射状排列，受膈神经（颈髓3—5节发出）控制。膈肌收缩使胸腔上下径加大，舒张时，上下径减小。由于呼吸深度不同，分平和呼吸与用力呼吸（深呼吸）。平和吸气时，膈肌和肋间外肌收缩，胸腔前后、左右、上下径均扩大，肺也被动扩大，肺容积增大，肺内压比外界大气压约低 $2-3\text{mmHg}$ ，空气克服气道阻力进入肺泡，产生吸气。气压达到暂时平衡，气体停止流动。膈肌、肋间外肌舒张，肋骨受重力作用下降，由于腹内压上推和膈肌回位，使胸腔缩小，肺随之缩小，容积减少，肺内

压高于大气压约 2—3mmHg，部分气体由呼吸道排出。此时肋间内肌并不收缩。用力吸气时，肋间外肌与膈肌收缩加强，还有胸大肌等参与，加强了吸气动作。用力呼气时，肋间内肌才收缩，腹壁肌肉参与活动，使胸腔尽量减小，加强呼气动作。以膈肌活动为主的呼吸运动称腹式呼吸，婴儿与成年男子多以腹式呼吸为主。以肋骨活动为主的呼吸运动称胸式呼吸，一般成年女子以胸式呼吸为主。

【肺容量】肺容纳气体的量，随呼吸深度而不同。平和呼吸时，每次吸入或呼出的气量称潮气量。正常人约 400—500 毫升，其中 $\frac{3}{4}$ 来自膈肌活动， $\frac{1}{4}$ 来自肋间外肌的活动。在平和吸气后，再尽力吸气所增加的气体量为补吸气量。平和呼气后，再尽力呼气所能呼出的气量为补呼气量。补吸气量、潮气量、补呼气量的总和为肺活量，即在最大吸气后，再尽力呼气，所能呼出的全部气量，一般成年男性约 3500—4500 毫升，女子约 2500—3500 毫升。肺活量的大小与身材、性别、年龄、呼吸肌强弱等有关，有较大个体差异，它只反映一次呼吸时可达到的最大通气量，并限定呼气时间，只作为一种静态指标，不能反映肺通气机能好坏。但测定方法简单，重复性好，可长期追踪病人，在尘肺等职业病防治中很实用。另一种动态指标为时间肺活量。是在尽力吸气后，再用力以尽快速度呼出，直到不能呼为止。在头 1、2、3 秒内所呼出的气体量占肺活量的百分比，正常人分别为 83%、96%、99%，其中第一秒意义最大。哮喘病人的肺活量与正常差别不大，但时间肺活量明显低于正常人。尽最大努力呼气后，肺内仍残留一些气量，称余气量（残气量）。肺活量加余气量为肺总容量，是肺能容纳的最大气量。

【肺的通气功能】衡量指标为每分通气量和每分肺泡通气量。每分钟进肺或出肺的气体总量称每分通气量，等于潮气量和呼吸频率的乘积。成年人安静时潮气量约 500 毫升，呼吸频率为 12—18 次/分，每分通气量约为 8 升。运动或劳动时，潮气量和呼吸频率均增加，每分通气量可达 70—100 升。每分通气量反映单位时间肺与外界通气的能力。但肺通气的目的在于保证肺换气机能的实现。每次吸入的气体，一部分停留在由鼻到细支气管的呼吸道中，它们不能与血液进行气体交换，这段腔称为解剖无效腔（死区）。从气体交换角度，有效的通气量是每分肺泡通气量，它等于潮气量与无效腔容量的差，乘以呼吸频率。由于某些原因，一些肺泡的毛细血管暂时无血液通过，此处肺泡内即使有气体也无法与血液进行气体交换，这部分空腔称肺泡无效腔（功能无效腔）。它与解剖无效腔合称为生理无效腔（总无效腔）。但是，正常人肺泡无效腔为零，也就是生理无效腔基本上等于解剖无效腔。由于解剖无效腔的存在，浅而快的呼吸使肺泡通气量大为减少，它比深而慢的呼吸效率低。但深而慢的呼吸能量消耗大。因此，呼吸应有适当深度与频率。

【气体交换】指肺泡和组织细胞与血液间进行的氧与二氧化碳交换的过程。肺泡气与肺毛细血管血液之间的膜称呼吸膜。电镜下观察，由内向外分为：单分子层表面活性物质和肺泡液层；肺泡上皮层；胶原纤维和弹力纤维为主的间质层；毛细血管基膜和内皮细胞。总厚度不超过 1 微米，气体极易通过。呼吸膜总面积约 50—100 平方米。在组织细胞处，细胞与体循环毛细血管血液间仅隔一层内皮，气体交换的动力是膜两侧的气体分压差，气体由分压高

向分压低处扩散，分压差越大，扩散速度越快。海平面大气中氧分压为 157mmHg， CO_2 分压为 0.3mmHg，吸入气在呼吸道与肺泡中气体相混，肺泡气氧分压变为 100—104mmHg， CO_2 分压为 40mmHg，肺毛细血管动脉端血液氧分压为 40mmHg， CO_2 分压为 46mmHg，因此，氧从肺泡扩散入肺毛细血管， CO_2 由血液扩散到肺泡。肺泡毛细血管内血液，由静脉血变为动脉血。在组织处，由于细胞新陈代谢消耗氧，产生大量 CO_2 ，组织液 CO_2 分压为 46mmHg，氧分压为 40mmHg，体循环毛细血管动脉端 CO_2 分压为 40mmHg，氧分压为 100mmHg，氧由血液扩散入组织液， CO_2 从组织液扩散入血液，毛细血管内血液由动脉血变为静脉血。组织细胞获得氧，排出二氧化碳，是经过两处气体交换及血液对气体的运输才完成的。

【氧的运输】在肺泡，氧由肺泡腔扩散进入肺泡毛细血管内，它首先溶解于血浆，100 毫升动脉血可溶解 0.3 毫升氧。血浆中的氧逐渐扩散到红细胞内，由于红细胞中有大量血红蛋白，它是一种含亚铁的结合蛋白质。氧分压高时，血红蛋白中的二价铁容易与氧作疏松结合，成为氧合血红蛋白。氧分压低时，又极易与氧解离。一个血红蛋白分子含 4 个 Fe^{2+} ，可与 4 个 O_2 发生可逆性结合，1 克血红蛋白可结合 1.34—1.36 毫升 O_2 ，血液中的氧绝大部分以氧合血红蛋白的形式运输。健康人 100 毫升血液若含 15 克血红蛋白，完全被氧饱和时，能结合 20 毫升 O_2 ，安静时，每 100 毫升血液流经组织约释放 5 毫升氧供组织利用。机体活动增强时耗氧量增加，组织液中氧分压更为降低，可促使氧合血红蛋白解离出更多的氧供机体需要。

【二氧化碳的运输】细胞新陈代谢产生的 CO_2 进入组织液, 通过体毛细血管壁进入血液。它以物理溶解和化学结合两种形式被运输的。 CO_2 首先溶解在血浆中, 这部分 CO_2 可透过细胞膜进入红细胞, 红细胞中有丰富碳酸酐酶, 催化 CO_2 与 H_2O 生成 H_2CO_3 , H_2CO_3 不断解离成 HCO_3^- (碳酸氢根) 与 H^+ 。这样, 红细胞内的碳酸氢根浓度超过血浆中的浓度, 于是透过红细胞膜扩散到血浆中。血浆有等量的氯离子转移到红细胞内, 以保持离子平衡。在组织处, 氧合血红蛋白释放出氧后, 与碳酸解离出的氢离子结合成还原血红蛋白。 CO_2 还与还原血红蛋白中珠蛋白的自由氨基结合形成氨基甲酸血红蛋白, 此反应不需要酶的参与。安静时, 血液中二氧化碳的运输, 约有 5% 为物理性溶解, 约 88% 以碳酸氢根形式, 6—7% 以氨基甲酸血红蛋白形式进行运输。每 100 毫升血液循环一次, 从组织运送约 4 毫升二氧化碳由肺排出体外。

【呼吸中枢】控制呼吸活动的神经中枢。人的呼吸是有节律地自动进行的, 呼吸深度和频率随代谢活动水平而改变。在一定范围内受意识控制, 如屏气、加快呼吸。控制节律性呼吸的基本中枢在延髓。延髓网状结构腹侧的一些神经元, 构成吸气中枢, 其背侧为呼气中枢, 左右两侧各有一吸气中枢和呼气中枢。吸气中枢的兴奋性较高。一般认为: 在血液中二氧化碳和其他传入冲动作用下, 使延髓吸气中枢兴奋, 它可交互抑制呼气中枢。同时, 通过神经联系, 使脊髓吸气肌运动神经元兴奋, 通过膈神经支配膈肌, 肋间神经支配肋间外肌收缩, 产生吸气运动。吸气中枢的兴奋也上传到脑桥呼吸调整中枢 (在脑桥上 1/3 网状结构中), 呼吸调整中枢兴奋后, 冲动下传到长吸中枢 (在脑桥中下部网状结构中) 和延髓吸气中枢, 抑制其活动, 使吸气停止, 转为呼气。吸

气中枢受到抑制后，它上传到呼吸调整中枢的冲动减少，呼吸调整中枢对吸气中枢的抑制解除。于是吸气中枢再次兴奋。这样反复进行，产生节律性呼吸。

排泄系统

【排泄系统】执行机体排泄机能的器官系统。新陈代谢过程中产生的一些机体不能利用、甚至有害的终产物，如尿素、尿酸、胆色素等，及进入体内的多余物质、水分和药物，从血液向体外排出的过程，称为排泄。它们如果蓄积在体内，将会影响内环境的渗透压、酸碱度、体液量、离子成分等，破坏内环境自稳态，不利于机体维持正常机能。肾是最重要的排泄器官，它以尿的形式排出大部分的代谢终产物和多余的水分。肺排出二氧化碳和少量水分。血红蛋白在肝内代谢产生的胆色素，通过胆汁排出。胃肠道粘膜和消化腺排出多余的无机盐，如钙、镁、铁等。皮肤汗腺排出尿素、氯化钠及水分等。

【肾】泌尿器官。脊椎动物最原始的泌尿器官是前肾（原肾），仅存在少数圆口类的成体。多数圆口类、鱼类、两栖类进化为中肾。爬行类、鸟类、哺乳类为后肾（简称肾）。人的肾为一对，在腹后壁上部脊柱两侧，右肾较左肾稍低，腹膜外位器官，蚕豆形，内侧缘凹陷处为肾门，是血管、淋巴管、神经和输尿管出入肾的地方。肾表面紧贴一层结缔组织膜称纤维膜，外有脂肪囊起保护作用。肾的额状剖面上，可见肾实质分为皮质和髓质。皮质在外，伸

入髓质的部分称肾柱。髓质由 15—20 个三角形的肾锥体组成，它的底朝向皮质，尖端称肾乳头，有的 2—3 个肾锥体合成一个肾乳头，其顶端有许多小孔称乳头孔。实质中央是肾门向内扩大的腔称肾窦，内有 7—8 个漏斗状的肾小盏包围肾乳头，承接由乳头孔排出的尿液。2—3 个肾小盏合为一个肾大盏，由肾大盏汇成肾盂，肾盂与输尿管相连。在肾窦内，肾小盏、肾大盏，肾盂之外有脂肪组织，与肾外的脂肪囊相连续，起保护作用。肾实质由许多肾单位和间质组成。间质中有结缔组织，含丰富的血管和神经。除泌尿机能外，肾还能分泌一些生物活性物质：在肾缺血时，肾小球旁器释放肾素，可影响醛固酮的分泌，调节血 Na^+ 与 K^+ 浓度，还可通过血管紧张素调节小血管收缩。缺氧刺激肾脏产生红细胞生成酶，它可加速红骨髓生成红细胞。维生素 D_3 需要在肝、肾中进一步转变具有活性后，才能促使肠道对钙的吸收。肾还分泌前列腺素 A_2 ，它是一种强的舒血管物质，可增加肾的血流量。

【肾单位】肾脏的结构和机能单位，由肾小体和肾小管组成。每个肾约有 100 万个肾单位。肾小体包括肾小球和肾小囊，肾小球由毛细血管球组成。肾小囊由内外两层上皮组成，内层紧包肾小球，外层与肾小管壁相连，内外两层间的囊腔与肾小管腔相延续。肾小管管壁薄，由单层上皮组成，分近曲小管，髓袢，远曲小管。远曲小管通向集合管，开口肾乳头上。肾动脉由肾门入肾后不断分支，最后成入球小动脉，它分枝成肾小球，然后又集成出球小动脉离开肾小球。肾小球毛细血管中的物质过滤到肾小囊腔，必须通过毛细血管的有孔上皮、基底膜和肾小囊内层足细胞形成的裂隙，这三层构成滤过膜。足细胞突起收缩或胀大可改变裂隙大小，使滤过膜通透性发生变化。估计两个肾总滤过面积约 1.5 平

方米。入球小动脉进入肾小球处，有一特殊结构，为肾小球旁细胞，血压降低时可产生肾素。靠近肾小球的远曲小管壁上有致密斑，可感受管腔液中 Na^+ 的变化，影响肾素的释放。以上这两部分合称为肾小球旁器。

【尿液的生成】滤过膜对肾小球毛细血管内的物质有选择通透性。正常情况下，血细胞、血浆蛋白质等大分子物质不能透过滤过膜，但小分子物质，如血浆中葡萄糖、尿素、水等很容易滤过。进入肾小囊腔的滤过液称为原尿。两肾每分钟约生成滤液 125 毫升，每天原尿量约 180 升。但原尿进入肾小管后，质与量发生很大变化。99% 水分被肾小管和集合管壁重吸收返回血液，葡萄糖被全部重吸收，钠、钾、氯等离子大部分被重吸收，尿素等代谢终产物小部分被重吸收。肾小管和集合管还分泌氢离子或氨到管腔中，并排出肌酐和进入体内的某些药物，如青霉素等，最后形成终尿。终尿由肾乳头孔流到肾小盏、肾大盏、肾盂，然后进入输尿管。

【渗透性利尿】由于肾小管管腔的滤液渗透压增高造成的利尿现象。肾小管和集合管管壁的细胞对管腔中的物质，能重新吸收返回血液中去。对不同物质重吸收的能力不同，重吸收的最高限度称为该物质的肾阈。由于肾小囊的滤过作用，小分子物质在肾小管腔中的浓度与血液中浓度是相同的。葡萄糖是高阈物质，只要血糖浓度低于 160—180mg%，就能全部被重吸收返回血液，所以正常人尿中无糖，此值为糖的肾阈。肌酐很少被重吸收，为低阈物质。无论高阈或低阈物质，只要血浆中的浓度超过该肾阈的，超过部分就不能被重吸收。因此管腔滤液溶质增加，渗透压升高，以致影响水的重吸收，使尿量增加。糖尿病患者血糖浓度很高，尿

中出现糖，而且多尿。利用渗透性利尿，临床上用 20% 甘露醇（低阈物质）或 25—50% 葡萄糖静脉注射作为脱水利尿药。

【水利尿】大量饮清水后，尿量增加的现象。大量饮水被肠道吸收进入血液，使血浆渗透压下降，影响到丘脑下部视上核周围的渗透压感受器，使视上核合成的抗利尿激素减少，释放量也降低。抗利尿激素通过血液控制肾脏远曲小管和集合管对水的重吸收。它的减少使水的重吸收减少，尿量大为增加，常可超过饮水量。将体内多余水分排出体外，以维持机体水平衡。

【排尿反射】产生排尿的反射活动。由于输尿管平滑肌收缩产生蠕动波，促使肾脏产生的尿液间歇式地进入膀胱。膀胱在盆腔前方，构成膀胱壁的平滑肌称逼尿肌，有较大的展长性，收缩时使膀胱内压升高。膀胱与尿道交界处有增厚的环形肌，称尿道内括约肌，它与逼尿肌都受植物性神经控制。膀胱贮尿时，逼尿肌舒张，内括约肌收缩。膀胱通向体外的通道为尿道，男性尿道细长，兼有排精机能；女性尿道粗短。尿道口有环行骨骼肌构成的尿道外括约肌，阴部神经（属躯体神经）经常有冲动使外括约肌收缩，使尿道口关闭。当膀胱内贮尿达 400 毫升左右，内压明显上升，刺激了壁上的牵张感受器，冲动经感觉神经传到腰骶髓排尿中枢。低级排尿中枢将兴奋上传到大脑，引起尿意。如果条件允许，则加强低级排尿中枢的兴奋，使控制膀胱的副交感神经兴奋，交感神经抑制，逼尿肌收缩，内括约肌舒张。阴部神经抑制，外括约肌松弛，产生排尿反射。若条件不允许，大脑皮层则抑制低级排尿中枢，使排尿反射暂停进行。婴幼儿大脑皮层对低级排尿中枢控制能力差，当膀胱胀满时就自动排尿。当成年人意识丧失、外伤

使腰骶髓与高级中枢联系中断或老年人大脑控制机能减退时，也会发生尿失禁。

生殖系统

【雄性生殖系统】执行雄性繁衍后代机能的器官系统。在哺乳类，包括产生精子的睾丸（精巢），运送精子的管道——输精管、附属生殖器和腺体。腺体分泌物供给精子充分养料，便于精子活动。附属交配器官保证将精子运送到雌性体内与卵结合。人类男性生殖系统分内生殖器和外生殖器。内生殖器在体内，包括睾丸、附睾、输精管、射精管、精囊腺、前列腺。附睾紧贴睾丸（参见“睾丸”）后缘，呈新月形，头部由睾丸输出小管盘绕而成，尾部移行于输精管，它贮存精子，使精子继续成熟，并具有活动能力。输精管由阴囊经腹股沟管进入盆腔，在膀胱后方，左右侧输精管逐渐接近，基部膨大，末端变细后，与精囊腺的排泄管合成射精管。射精管穿过前列腺，开口于尿道。精囊腺是囊状腺体，一对。前列腺单个，在膀胱下方，形似栗子，由腺体和大量平滑肌组成，中央有尿道穿过，前列腺肥大压迫尿道，导致排尿困难。精囊腺、前列腺和尿道球腺（一对，如豌豆大）的分泌物，乳白色、碱性，含果糖、前列腺素、草酸盐等，适于精子生存，与精子一起组成精液。一次射精约 2—5 毫升，每毫升精液约有 1 亿精子。外生殖器有阴囊和阴茎。阴囊内有睾丸和附睾，皮肤薄，皮下有平滑肌，可随外界温度反射性舒缩，调节阴囊内温度，利于精子发育。阴茎由两个阴茎海绵体、一个尿道海绵体和外面筋膜及皮肤组成。尿

道海绵体的中央有尿道穿过。尿道也是排精的通道，开口于阴茎头。阴茎头周围的环状皱襞称为包皮。

【睾丸】雄性动物的性腺，产生精子与雄性激素。人的睾丸一对，卵圆形。胚胎初期位于腹腔后壁腰部，逐渐下降，出生前不久经腹股沟管下降到阴囊中。若出生后未降入阴囊，滞留在腹腔或腹股沟管内，则为隐睾。因腹腔温度比阴囊内高 $1.5—2^{\circ}\text{C}$ ，隐睾使生精上皮变性，生精过程停止，造成不育症。睾丸由许多曲细精管组成，小管上皮有二类细胞，一类是支持细胞，支持和营养精细胞。另一类为不同发育阶段的精细胞，曲细精管由外向内依次为原始未分化的精原细胞、初级精母细胞、次级精母细胞、精细胞、精子。精子的发生依附在支持细胞上进行，精子形成后，离开上皮进入曲细精管管腔，在附睾中进一步成熟，逐渐具有活动能力。青春期开始，睾丸即有产生精子的能力，到老年逐渐衰退。曲细精管之间有间质细胞，能产生雄性激素和少量雌性激素。

【雌性生殖系统】执行雌性繁衍后代机能的器官系统。在人类，包括产生卵细胞的卵巢，运输管道——输卵管、子宫、阴道，附属腺体——前庭大腺和外生殖器——女阴。卵巢产生卵细胞和雌性激素（参见“卵巢”）。输卵管位于子宫两侧，一端近卵巢，端口呈放射状不规则的突起称输卵管伞，开口于腹腔。输卵管壁的内层为粘膜，多数上皮细胞有纤毛，朝子宫方向摆动，肌层为平滑肌，产生蠕动，可将卵巢排出的卵子向子宫方向推送。子宫位于膀胱与直肠之间，呈倒梨形，在输卵管入口以上顶端圆凸部分为子宫底，下端狭窄部分为子宫颈，两者之间为子宫体，中间有窄的腔，子宫颈下口为子宫口，通阴道。子宫壁内层的粘膜称子宫

内膜，中层为平滑肌层，外层为浆膜。子宫体与子宫底的粘膜随月经周期有周期性增生和脱落，卵受精后也种植在粘膜内，发展成胚胎。阴道连接子宫与外生殖器，前为尿道，后为直肠。处女阴道口有处女膜附着。阴道粘膜上皮为复层扁平上皮，胞内含有糖元，上皮细胞脱落后，在阴道杆菌作用下，将糖元转变为乳酸，使阴道保持酸性，可防止细菌侵入子宫。外生殖器（女阴）包括大阴唇、小阴唇、阴阜、阴蒂等。前庭大腺位于阴道口两侧后方的皮下，开口在阴道口附近，分泌粘液，润滑阴道口。

【卵巢】雌性动物的性腺，产生卵细胞和雌性激素。人的卵巢一对，呈扁卵圆形，位盆腔内，子宫两侧的后上方，借韧带与骨盆和子宫相连，以保持盆腔中的位置。幼年卵巢表面光滑，青春期后卵巢最大，多次排卵后，表面形成瘢痕而凹凸不平。卵巢表面为扁平生殖上皮，下面一层结缔组织膜称白膜，再内为皮质，是不同发育阶段的卵泡。中央的髓质为结缔组织，含丰富血管、淋巴管和神经纤维。人婴儿出生时两个卵巢约含有 100 万个初级卵母细胞，而一生中只有约 400—500 个发育成熟，其余的逐渐退化。进入青春期后，在腺垂体促性腺激素作用下，每月有一些卵泡发育，经历初级卵泡、生长卵泡、成熟卵泡的变化，在不同阶段有的卵泡逐渐退化，最后只有一个卵泡成熟。卵泡发育过程中，外层的卵泡细胞由单层变为多层、出现空腔，并逐渐扩大，中间的卵原细胞逐渐变为成熟卵细胞。成熟卵泡排卵后，剩余部分变为黄体，生存期的长短取决于排出的卵是否受精。若受精，黄体维持到妊娠 4—5 个月左右才萎缩，变为白体，若未受精，维持两周后退化。卵泡细胞和黄体分泌雌激素和孕激素。

【雄激素】雄性动物的性激素。主要由睾丸间质细胞分泌，肾上腺皮质网状带、卵巢也有少量分泌。雄激素属类固醇激素，活性最强的是睾丸酮。男性每 100 毫升血浆中含 0.7 微克睾丸酮。主要生理作用是促使精子生成和发育；促进男性附性器官（附睾、输精管、精囊腺、前列腺、阴茎等）发育，维持它们的正常活动；激发和维持男性的副性征，如高大的体格、长胡须、突出的喉结、低沉的音调等；加强蛋白质合成，促进肌肉发育和骨骼生长，使体内贮存脂肪减少；以及维持正常性欲等。

【雌激素】雌性动物的性激素之一。由卵巢的卵泡细胞和黄体细胞分泌。肾上腺皮质网状带、睾丸间质细胞也有少量分泌。雌激素属类固醇激素。人卵巢以雌二醇分泌量最大，活性最强。主要生理作用是：（1）促进雌性性器官的发育和成熟，如使子宫内膜增生，子宫肌层增厚，阴道上皮增生、角化，促使子宫颈腺体分泌较稀薄液体，以利于精子通过等；（2）促进雌性副性征的出现，如发达的乳房，宽大的骨盆，高的音调，丰富的皮下脂肪等；（3）加强输卵管和子宫平滑肌收缩；（4）促进肾对水与钠离子的重吸收，使细胞外液量增加（通常这一作用不明显，某些妇女月经前出现浮肿可能与此有关）。

【孕激素】雌性动物的性激素之一。由卵巢的黄体细胞分泌，属类固醇激素。以孕酮（黄体酮）的作用最强。主要生理作用有：（1）维持妊娠；（2）在雌激素作用基础上可使子宫内膜继续增生，并使子宫腺分泌；（3）减弱输卵管和子宫平滑肌的活动；（4）与雌激素共同促使乳腺腺泡发育成熟；（5）抑制排卵；（6）使基础体温升高。排卵日体温比较低。排卵后，由于孕激素影响，使体

温升高 $0.3—0.5^{\circ}\text{C}$ 。

【月经周期】人类与灵长类雌性的生殖周期。由于子宫有周期性出血成为月经，将这种生殖周期称为月经周期。一个周期中，生殖器官的活动、激素分泌水平等均有周期性变化。第一次月经称初潮，约在 13—15 岁。通常 45—50 岁月经停止，称为绝经期。每一月经周期通常为 28 天，但有个体差异。一个月经周期可分三个时期：(1) 增生期（排卵前期）：上次月经停止到排卵，占 10 天。在腺垂体促性腺激素作用下，卵巢中卵泡逐渐发育成熟，并产生雌激素，它可使子宫内膜迅速增生。此期末有一个卵泡成熟并排出。(2) 分泌期（排卵后期）：由排卵到下次月经到来之前，占 14 天。排卵后，卵巢中剩余的卵泡形成黄体，黄体产生雌激素和孕激素，使子宫内膜进一步增生，子宫腺分泌。若卵没有受精，黄体维持二周后退化，变为白体。若卵受精，黄体维持到妊娠 4—5 月才退化。(3) 月经期：黄体退化后，产生的激素突然减少，子宫内膜缺少这两种激素的支持，内膜血管痉挛、破裂、出血，成为月经，由阴道流出。每次流血量约 30—100 毫升。由于有纤维蛋白溶解酶将纤维蛋白溶解，所以流出的月经血一般是不凝固的。

【乳腺】哺乳类特有的腺体。雌性最发达，能分泌乳汁，哺乳幼儿。人类女性在青春期开始发育，妊娠与哺乳期乳腺有分泌活动。乳房由皮肤、乳腺和脂肪组织构成。乳腺为复管泡状腺。脂肪组织形成许多小隔，将乳腺分成 15—20 个乳腺叶，以乳头为中心放射状排列。腺泡的小导管汇集成大导管，每叶有一总排泄管开口在乳头。乳头周围色素较多的环形皮肤称乳晕，表面的小隆起为乳晕腺，分泌的脂状物可润滑乳头。青春期开始，卵巢分泌的雌激

素与孕激素使乳腺腺泡发育、导管生长、脂肪组织增加。妊娠期，腺泡和导管增生，腺垂体的生乳素（催乳素）可促使乳腺分泌，肾上腺皮质激素和胰岛素也有类似的促进作用。妊娠后期分泌有丰富乳蛋白、脂质很少的黄色液体，称初乳。分娩后，婴儿的吸吮通过神经反射促使生乳素与催产素分泌增加，使乳腺持续分泌乳汁并射乳。乳汁中含有大量水分和各种营养物质。老年时，由于雌激素与孕激素分泌减少，乳腺腺泡和导管均萎缩。

【妊娠】又称怀孕，是受精卵在母体内发育成足月胎儿的一系列生理过程。人卵在输卵管壶腹部受精，受精卵染色体为 46 个。它由输卵管向子宫移动的同时，细胞不断分裂。约在排卵后第 7—8 天，在子宫体上部的前后壁，进入子宫内膜着床（植入）。由胚胎组织和母体组织共同形成胎盘，一般从妊娠第 6—7 周开始形成，以后逐渐完善。胎儿血液通过两条脐动脉到胎盘绒毛的毛细血管，通过脐静脉流回胎体，绒毛外面的血窦内为母体血液，它缓慢流动，与胎儿血液进行物质与气体交换。胎盘还分泌人绒毛膜促性腺激素（HCG）、绒毛膜生长素、雌激素和孕激素。HCG 在妊娠早期维持黄体继续发育。绒毛膜生长素可促进乳腺生长，为泌乳作准备。胎盘还是免疫屏障，防止胎儿组织抗原进入母体产生免疫反应，这些都保证妊娠顺利进行。激素也使母体产生一些变化。如雌激素可松弛骨盆的一些韧带，使耻骨联合变得有弹性，利于分娩；促使乳腺增生及泌乳，为产后哺乳作准备。人的妊娠期约 280 天。

【分娩】成熟胎儿由子宫娩出母体外的过程。由于某些因素，使母体子宫平滑肌兴奋性增高，妊娠末期子宫平滑肌对催产素很敏感。

分娩时，胎头对子宫颈的压迫，也可刺激子宫内感受器兴奋，反射性地引起子宫收缩，同时刺激催产素分泌。由于腹部肌肉和子宫肌强有力的阵发性收缩，最终使胎儿娩出。随后，胎盘与子宫壁分离，排出体外。催产素使子宫强烈收缩，也压缩了子宫壁血管的裂口，可减少产后出血。

神经系统

【神经系统】主要由神经组织等构成的器官系统。调节与协调各器官系统的生理机能，起支配的主导作用，使机体成为统一整体，并通过感受器感知外界变化，进行分析、综合，调节各器官系统活动，以适应外界环境变化，人脑还是心理活动的器官。多细胞腔肠动物（如水螅）开始分化出神经细胞，形成网状神经系统。扁形动物神经细胞集中，出现神经索，为梯状神经系统，环形动物（如蚯蚓）神经细胞体聚集为神经节，形成索状神经系统。脊椎动物开始出现管状神经系统，有中枢与周围神经系统的区别。随着动物进化，脑细胞数量增加，联系广泛，特别是大脑的发展。鱼类、两栖类大脑的主要部分是嗅球；鸟类的纹状体发达；哺乳类有比较发达的大脑皮层，出现了沟、回，表面积大为增加，大脑皮层控制作用加强。神经系统来自胚胎外胚层，首先形成神经板，再形成神经管，前端出现脑泡。前脑分化为端脑（大脑）与间脑；中脑变化不大；菱脑分化为后脑、末脑；后脑泡腹侧发展为脑桥，背侧为小脑；末脑泡发展为延髓，神经管后端成为脊髓。脑泡中央的腔形成脑室，脊髓中央的腔为中央管。

【中枢神经系统】神经系统的核心部分，包括脑与脊髓。由神经细胞与神经胶质细胞等组成，其中有联系感觉神经元与运动神经元的中间神经元（联合神经元）和运动神经元的胞体及感觉神经元的轴突。一个神经元的轴突通过分支与许多神经元相突触。一个神经元的胞体与树突，也可接受许多不同神经元轴突形成许多突触。随着进化，中间神经元的数目大为增加，神经元间的联系复杂，有的为链锁状，有的为环状，前者可使兴奋在空间扩大作用的范围，后者可使冲动在时间上增加持久性。中枢的神经元在机能上组成不同神经中枢，对传入的神经冲动进行分析与综合，产生兴奋或抑制过程。若产生兴奋，则有神经冲动经传出神经使效应器产生相应活动；若产生抑制，则中枢原有的传出冲动减弱或停止，效应器活动则减弱或停止。

【脊髓】中枢神经系统的低级部位。位于椎管内、扁圆柱形，在枕骨大孔处向上与延髓相连，末端呈圆锥状。成人圆锥末端达第一腰椎下缘（新生儿达第三腰椎平面）。从横径看有二个膨大，颈膨大是臂丛神经元所在地，腰膨大是控制下肢的神经元所在地。脊髓表面无明显节段标志，但每一对脊神经相连的一段脊髓称一个脊髓节段，共 31 节段：颈髓 8 节、胸髓 12 节、腰髓 5 节、骶髓 5 节、尾髓 1 节。脊髓横切面上可见：灰质在内，为“H”形，是神经元胞体集中处，它的前端为前角（腹角）或前柱，由运动神经元胞体组成。后端为后角（背角）或后柱，由接替感觉神经元的第一个中间神经元组成。在第一胸髓到第三腰髓前角与后角之间有侧角或侧柱，由交感节前神经元胞体组成。白质在外，由联系脊髓各个节段和到脑的上、下行神经纤维束组成。灰质中心有

中央管，上端与第四脑室相通。脊髓是简单反射的中枢，如腱反射、肌紧张、屈肌反射、排便、排尿反射。通过上、下行传导束传导感觉与运动冲动，将脑与各器官系统的活动联系起来。

【脑干】脑的一部分。包括延髓、脑桥、中脑。延髓腹面中央两侧各有一条纵行隆起，称锥体，内有皮质脊髓束通过，其中大部分纤维在下段左右交叉，形成锥体交叉。锥体外侧有圆形隆起，称橄榄体。橄榄体与锥体之间有舌下神经出脑，外侧纵沟中有舌咽神经、迷走神经、副神经出脑。脑桥腹面由横行纤维的基底部构成，两侧延伸在背面形成脑桥臂，与小脑相联。腹面有三叉神经、展神经、面神经、位听神经进出脑。中脑腹面的两条隆起，称大脑脚。中间的窝称脚间窝，动眼神经根在窝内。延髓、脑桥背面与小脑之间的空腔为第四脑室。来自脊髓与延髓的神经纤维通过绳状体与小脑相连，脑桥通过脑桥臂、中脑通过结合臂与小脑联系。中脑背侧有四叠体，上面一对为上丘，是视觉反射中枢，靠下一对为下丘，是听觉反射中枢。下丘的下方有滑车神经根。脑干内部，由于第四脑室的扩大及上下行神经纤维穿行，灰质不像脊髓那样呈连续的柱状，而是功能相同的神经元胞体集成神经核，分散在白质中。包括传导中继核、感觉核、运动核，重要的传导中继核如中脑的红核，呈椭圆形，是大脑、小脑到脊髓的下行中继核。红核腹外侧的黑质，是大脑到间脑以及脑干网状结构的下行中继核，神经元胞体内含丰富的多巴胺。感觉核是脑神经中的感觉神经的终止核。运动核是运动神经元的起始核，如动眼神经核发出的神经纤维组成动眼神经，支配某些眼外肌运动。除了这些边界明确的核团，在脑干中央，神经纤维交织成网状，网中分散着大小不等的神经细胞团，此区域称网状结构，它的联系

广泛，与躯体运动、感觉有关，也是控制心血管、呼吸、消化机能的重要中枢。脑干的机能是多方面的，基本生命中枢在网状结构。其他如延髓的前庭核是躯体运动调节的重要中枢。脑桥有角膜反射中枢，中脑有瞳孔对光反射中枢等。脑干也是脊髓与脑高级部位联系的通道。

【间脑】脑的一部分。在大脑与中脑之间，大部分被大脑半球复盖。主要分丘脑、后丘脑、下丘脑（丘脑下部）。丘脑在背侧，为卵圆形灰质块，被“Y”形的神经纤维束分成前核、内侧核、外侧核，前核与内脏活动有关。内侧核是躯体和内脏感觉的整合中枢。外侧核是躯体感觉及小脑冲动的中继核。后丘脑的外侧膝状体是视觉传导通路上最后中继核，内侧膝状体是听觉传导通路上中继核。间脑中的空腔为第三脑室，两侧以室间孔与侧脑室相通，后通中脑水管。下丘脑在丘脑下方，包括乳头体、灰结节、漏斗柄、神经垂体及组成第三脑室壁的一些神经核，如室旁核和视上核在前，乳头体核属后核群。丘脑下部与腺垂体有密切联系，接受大脑、脑干、脊髓来的信号，又控制这些部位的植物性活动中枢，调节水平衡、摄食、体温等机能，与睡眠、情绪均有关。它是重要的植物性机能的较高级整合中枢。

【小脑】脑的一部分。位于颅底窝，上面平坦，下面中部凹陷，两侧膨大为小脑半球，表面有许多平行的沟。小脑半球剖面上，外被灰质的皮层，中央为白质和神经核，其中齿状核最大。小脑半球通过结合臂、脑桥臂、绳状体，分别与中脑、脑桥、延髓联系。从发生与机能上，小脑分为古小脑（主要与前庭系统有联系）旧小脑（主要接受由脊髓与脑干来的冲动）和新小脑（主要经脑桥、

中脑与大脑皮层联系，在种族及个体发生上出现最晚)。小脑主要机能是：维持身体平衡、调节肌紧张、协调肌肉运动。大脑与小脑间有反馈联系，小脑可将肢体运动信息与大脑发出的信息比较，进行恰当、迅速的纠正，以减少随意运动中的偏差。

【大脑】又称端脑。主要包括左右大脑半球。分割两半球的纵裂称大脑纵裂（矢状裂），它的底是连接左右半球的胼胝体。每一半球最大的沟裂有中央沟和外侧裂，它们是大脑半球分区的重要标志。中央沟前方，外侧裂上方为额叶，中央沟后至顶枕裂上缘为顶叶。顶枕裂到枕前切迹（自枕极向前约4厘米处）的一条假想线之后为枕叶。外侧裂下方为颞叶。埋在外侧裂深部为岛叶（脑岛）。半球表面有许多沟，沟之间隆起部分为回，在胚胎第五个月发生，出生后逐渐完成，它增加了大脑表面积。从剖面看，半球外层为灰质，称大脑皮层（皮质），细胞总数约为140亿，厚度在4.5—1.3毫米之间，由各种神经元、神经纤维与神经胶质细胞构成，胶质细胞与神经细胞数为2：1。深部为白质，连接左右两半球的神经纤维有胼胝体、前连合和穹隆连合。连接本侧半球不同部位的纤维为固有连合系。还有联系大脑皮质与脑干、脊髓的上、下行神经纤维称投射纤维，绝大部分经过内囊，内囊在丘脑、尾状核与豆状核之间。大脑半球白质中的大灰质核团称基底核，包括尾状核、豆状核、屏状核和杏仁体，尾状核与豆状核称纹状体。大脑半球中的空腔为侧脑室。它的下角附近有海马与齿状回，合称为海马结构。在半球的腹面，由嗅球、嗅束和嗅结节组成嗅叶。半球内侧面，胼胝体周围，由扣带回、海马回、海马回钩组成边缘叶，它与附近的皮质以及皮质下结构，如杏仁核、下丘脑、丘脑前核等，在结构与机能上有密切联系，构成统一的功能系统，称

为边缘系统，也称内脏脑，与内脏活动、情绪、记忆有关。人的大脑是控制感觉、运动、内脏器官活动的最高中枢。如枕叶距状裂周围是视觉最高中枢；颞上回、颞横回是听觉最高中枢；顶叶的中央后回是躯体感觉最高中枢；额叶中央前回是躯体运动最高中枢等。人的大脑皮层高度发展，各种生理活动的调节机能高度集中于大脑皮层。大脑与语言、思维、意识等，均有密切关系。

【脑脊髓被膜】保护与支持脑和脊髓的膜状物。由外向内为硬膜、蛛网膜和软膜。脊髓与脑的被膜是相延续的。硬脊膜厚而坚韧，由致密的胶原组织组成，它与椎管内面的骨膜之间空腔称硬膜外腔，有脊神经根通过，此腔与颅内并不相通，是临床上进行硬膜外麻醉的部位。蛛网膜薄而透明，缺乏神经和血管。软脊膜紧贴脊髓表面，薄而有丰富的血管，它与蛛网膜之间的空腔称蛛网膜下腔，在脊髓下端的扩大称终池，池内只有脊神经根形成的马尾。蛛网膜下腔内有脑脊液。硬脑膜为二层，在某些部位分开，里面衬内皮细胞形成硬脑膜窦。脑的静脉汇入窦内，然后再汇入颈内静脉。脑蛛网膜与脊髓的相同。在硬脑膜窦附近形成许多绒毛状突起，称蛛网膜颗粒，突入硬脑膜窦内。软脑膜紧贴脑表面和沟裂，供应大脑的血管在软脑膜中分支，并穿入到脑组织内。

【脑脊液】在脑室、脊髓中央管及蛛网膜下腔中循环流动的液体。在脑室的某些部位，由软脑膜上的血管和脑室膜上皮，突向脑室形成特殊结构，称脉络丛，它分泌脑脊液。脑脊液在侧脑室、第三脑室、中脑水管、第四脑室中流动，经第四脑室的正中孔和两个外侧孔到蛛网膜下腔，经特殊的绒毛状突起（蛛网膜颗粒），渗透到硬脑膜窦的血液中，再汇入颈内静脉。脑脊液无色透明，类

似淋巴液，仅有少数淋巴细胞，蛋白质浓度极低，压力在 70—180 毫米水柱。可运送营养物质到脑细胞，并带走其代谢产物。还可缓冲外力、减少震荡，保护脑与脊髓，可维持一定颅内压。成人脑脊液总量约 150 毫升。

【脑屏障】保证中枢神经元的内环境恒定的屏障性结构。分血-脑屏障、血-脑脊液屏障和脑-脑脊液屏障。特别是前二者，可防止有害物质进入脑组织，使神经系统的内环境相对稳定，保证神经细胞的正常活动。在中枢神经系统中毛细血管与神经元之间进行物质交换，隔有以下结构：毛细血管内皮细胞、基膜和神经胶质细胞突起在毛细血管外的贴附。由于此处毛细血管内皮细胞没有窗孔，细胞之间联接紧密。这样，毛细血管内的大分子物质难以透出血管之外，到神经元周围的细胞外液中。这种在血液与中枢神经元间的屏障性结构，称血-脑屏障。同样，脑室脉络丛的毛细血管内血液与脑脊液之间的屏障，称血-脑脊液屏障，它使血液中的大分子物质和已糖不能进入脑脊液，而脂溶性物质较易进入，水、气体、无机盐等可自由通过。由于青霉素不易透过血脑屏障，而磺胺嘧啶则容易通过，治疗脑膜炎的效果较好。了解脑屏障后，设法改变药物剂型等办法，协助其越过脑屏障作用于脑组织，达到治疗的目的。

【周围神经系统】中枢神经系统以外的神经成分，联系中枢与身体各器官系统。根据发出的部位，分为脑神经与脊神经。根据功能分为传入神经（感觉神经）、传出神经（运动神经）。支配骨骼肌活动的为躯体运动神经，支配内脏器官、心血管活动及腺体分泌的为植物性神经，后者又分交感神经与副交感神经。

【脊神经】与脊髓相连的神经成分。每一脊髓节段发出一对，共 31 对。每个脊髓节段发出前根和后根，在椎间孔处会合成脊神经，由椎间孔穿出椎管。由于脊髓全长短于椎管长度，在脊髓圆锥下端，腰、骶、尾部的脊神经根在椎管内聚集成束，形成马尾，浸浴在终池内的脑脊液中，行走一段后，再由相应椎间孔穿出。前根内为运动性神经纤维，是脊髓前角运动神经元及侧角的交感神经元或副交感神经元的轴突。后根的功能为感觉性的，椎间孔附近的脊神经节是感觉神经元胞体集中处，它的轴突（中枢突）形成后根进入脊髓，树突（周围突）随脊神经分布到全身各处，形成各种感觉神经终末结构，感受各种刺激。脊神经出椎间孔后，立刻分为前支与后支，含感觉纤维与运动纤维，为混合性神经。后支一般细小、分布到项、背、和腰骶部深层的肌肉和皮肤。前支粗大，除 2—11 对胸神经构成肋间神经外，其余前支组成四个神经丛（颈丛、臂丛、腰丛、骶丛），再由丛发出分支到颈、部分腹壁、四肢的皮肤和肌肉。如颈丛中有膈神经，其运动神经纤维支配膈肌，感觉纤维分布在胸膜，心包等。臂丛分支到胸、背部及上肢。骶丛中有全身最大的神经——坐骨神经，是下肢主要感觉与运动神经。

【脑神经】与脑相连的神经，共 12 对。第一对嗅神经，为感觉神经，传导嗅觉冲动。第二对视神经，为感觉神经，传导视觉冲动，由眼球后方发出，在间脑底面形成视交叉，经视束入间脑。第三对动眼神经，是运动性神经，由中脑脚间窝出脑，一部分纤维支配眼外肌（除上斜肌与外直肌外）运动，一部分属植物性神经，支配眼内瞳孔括约肌、睫状肌。第四对滑车神经，支配眼上斜肌运

动，由中脑下丘下方伸出。第五对三叉神经，是混合神经，司头面部皮肤、鼻腔、口腔、舌前 $2/3$ 粘膜、角膜等浅感觉及咀嚼肌运动。第六对展神经，支配眼外直肌运动。第七对面神经，为混合神经，司舌前 $2/3$ 味觉，舌下腺、颌下腺、泪腺的分泌及表情肌运动。第八对位听神经，为感觉神经，司听觉与平衡觉。第九对舌咽神经，为混合神经，司舌后 $1/3$ 味觉，咽部感觉，腮腺分泌及咽肌运动。第十对迷走神经，是混合神经，司咽、喉肌运动和感觉，心脏活动，内脏器官的感觉与运动及腺体分泌。第十一对副神经，为运动神经，支配咽喉肌肉及胸锁乳突肌、斜方肌运动。第十二对舌下神经，控制舌肌运动。

【植物神经系统】支配内脏、心血管活动和腺体分泌等植物性机能的神经系统。又称自主神经系统，受大脑和各级中枢的控制和调节。这些植物运动神经与控制动物特有的骨骼肌活动的躯体运动神经不同，在一定程度上不受意志的直接控制。躯体运动神经由中枢发出后，直接到达骨骼肌，而植物性神经由低级中枢发出后，要在植物性神经节换一个神经元才到达效应器，神经节前的神经元称节前神经元，神经节后的神经元为节后神经元。植物性神经分交感神经与副交感神经，多数内脏器官同时接受这两种神经控制，称双重神经支配。它们对同一器官的影响常为拮抗性的。如心副交感神经使心率减慢、收缩力量减弱；而心交感神经使心率加快、收缩力量增强。它们作用相互制约而协调。一般机体剧烈运动或环境急剧变化时，交感神经活动相对占优势。机体处于安静或睡眠时，副交感神经活动相对占优势。

【交感神经】植物性神经的一部分。它的低级中枢在胸髓第一节段

向下直到腰髓第三节段灰质的侧角,即节前神经元胞体所在处,它的轴突(节前纤维)由前根经脊神经到交感神经节换节后神经元。交感神经节有两种:椎旁节与椎前节。椎旁节在脊柱两旁,由神经节与节间支连接成链锁状,与脊神经有交通支相连。椎前节在脊柱前方,为不规则团块,如腹腔神经节、肠系膜上、下神经节等。节前神经元在椎旁节或椎前节换一次节后神经元后,有的节后纤维返回脊神经,随脊神经分布到躯干和四肢的血管、汗腺和竖毛肌等,有的节后纤维则直接到所支配的脏器。一个节前神经元可与较多节后神经元相突触,因此作用范围较为广泛。

【副交感神经】植物性神经的一部分。它的低级中枢在脑干副交感神经核(如中脑的缩瞳核,又称EW核)和骶髓2—4节段灰质,即节前神经元胞体所在处。在脑部,它的轴突随Ⅲ、Ⅶ、Ⅸ、Ⅹ对脑神经发出,骶部随骶神经发出到副交感神经节。副交感神经节分器官旁节与器官内节。在神经节换节后神经元,它的轴突(节后纤维)很短,支配效应器活动。一个节前神经元与较少的节后神经元相突触,它的影响范围不如交感神经广泛。

【兴奋】活组织或细胞接受刺激产生反应的一种形式。当刺激达到一定强度,对组织作用一定时间后,组织由静止变为活动状态,或由活动弱变为活动增强的状态,即为兴奋。如肌肉接受刺激产生收缩;刺激心交感神经,心率由慢变快等。兴奋不仅有外在表现,还包括电位变化、氧的消耗和二氧化碳增多、产热增加等代谢变化。不同组织器官兴奋的表现形式不同。肌肉表现为收缩,神经兴奋有神经冲动传播,腺体表现为分泌。

【抑制】机体或组织器官接受刺激产生反应的一种形式。刺激作用于组织器官后，组织器官由活动状态变为静止状态，或由活动强变为活动减弱的状态，即为抑制。如当支配心脏的迷走神经冲动增加时，心率变慢，心肌收缩力减弱，产生抑制过程。中枢神经系统的基本神经过程为兴奋和抑制。分析屈肘运动，控制屈肌的中枢兴奋，由于中枢其它神经元的影响，使控制伸肌的神经元产生抑制性电位变化，因此没有神经冲动传出，使伸肌舒张。抑制不是疲劳，也不是适应，而是一种主动的神经过程。机体反射活动所以能实现，都是中枢兴奋与抑制两个过程相互协调的结果。

【静息电位】又称膜电位。活细胞未受刺激时，细胞膜内外两侧的电位差。只要细胞维持正常的新陈代谢，膜电位就固定在一定值。如乌贼巨大神经纤维膜电位约 50 毫伏，蛙缝匠肌膜电位约 80 毫伏，蛙神经纤维膜电位约 70 毫伏，人红细胞膜电位为 6—10 毫伏，平滑肌膜电位约 55—60 毫伏。由于细胞膜有选择通透性，使膜内外离子分布不均衡。静息状态下主要表现为 K^+ 外流。在膜的外侧聚集较多正离子，膜内侧有较多负离子，使细胞膜两侧处于膜外为正、膜内为负的极化状态。

【动作电位】组织细胞兴奋后，在细胞膜上产生的可传播的去极化过程。当一个有效刺激作用于细胞，使膜的通透性发生变化，在刺激部位，膜对于 Na^+ 通透性突然增高，超过对 K^+ 通透性，大量 Na^+ 流入膜内，使静息时膜外为正、膜内为负的极化状态很快去极化，甚至变为膜外为负、膜内为正的反极化状态。这样，兴奋部位与静息部位形成电位差，产生局部微弱电流，兴奋部位的去极化过程沿细胞膜传播开来。原来的兴奋部位由去极化经复极化，恢

复原来极化状态。复极化过程需要细胞供给能量。兴奋部位迅速产生去极化、复极化过程称为一个动作电位。不同细胞动作电位变化幅度与持续时间不同，神经和骨骼肌细胞动作电位持续一至数毫秒，而心肌细胞为数百毫秒。通过仪器可显示和记录动作电位。在神经上，若二个引导电极均安置在细胞膜表面，称胞外描记，可显示双相动作电位；若一个电极在膜外，一个在膜内，称胞内描记，显示的单相动作电位，是一个引导电极下，兴奋部位去极化、复极化过程，可更方便地研究动作电位。

【神经冲动】沿神经纤维传播的动作电位或锋电位。在仪器上用高倍放大和慢扫描显示的动作电位包括锋电位与后电位。锋电位的上升支代表去极化，下降支为复极化，后电位是复极化后微小的电位变化，又分负后电位与正后电位。锋电位是兴奋的表现，后电位表示兴奋后细胞代谢恢复过程。胞内描记时，一个有效刺激即能在电极下记录到一个锋电位，即一次神经冲动。刺激频率增加，锋电位以相同数目出现，即神经冲动增加。在一根神经纤维上，神经冲动的传播可沿纤维向两侧传导，其锋电位幅度与传播速度不会改变，神经也不易疲劳。当用机械压力、冷冻、药物、电流作用于神经纤维，可使神经冲动传导阻滞。由于神经纤维外有髓鞘等结构，神经干内的许多神经纤维各自传导自己的信息。互不干扰。

【突触】一个神经元与另一个神经元或效应器细胞相接触的特化部位，是信息传递与整合的关键部位。神经肌肉接点是突触的一种，神经元间的突触与它相似。神经元轴突末端分枝的终末处膨大，称突触小体，可与多个神经元发生突触联系，增加接触面积，扩大

信息。突触小体与后一神经元相对部位为突触前膜，后一神经元的部位为突触后膜，之间有突触间隙。突触小体胞浆内有较多的线粒体，以提供能量。还有突触小泡，小泡内含有递质，不同神经元所含递质不同。突触后膜上有一些特殊蛋白质结构称为受体，它可与相应的递质产生特异性结合，使突触后膜对不同离子的通透性发生改变。

【突触传递】兴奋经过突触传到下一个细胞的过程。当动作电位传到神经元轴突末梢的突触小体时，使突触前膜的钙通道开放，钙离子由胞外高浓度向胞内低浓度流动，使一定数量突触小泡向前膜移动，内含的递质被释放到突触间隙，经突触间隙与后膜上相应受体结合。若释放的是兴奋性递质，则使后膜对 Na^+ 通透性增加，突触后膜去极化，易产生兴奋。若释放抑制性递质，则使后膜上 K^+ 外流增加，使突触后膜兴奋性降低，产生抑制。后一个神经元上有无数兴奋性突触和抑制性突触，从时间或空间范围，这些局部电位可以总和，决定该神经元在某一瞬间有无动作电位产生。若后膜出现动作电位，则兴奋通过突触传到了下一个神经元。若下一个神经元无动作电位出现，则产生抑制过程。

【神经递质】通过突触传递信息的化学物质。它在突触前神经元胞体中合成，贮存在囊泡中，通过轴突中的胞质运输到突触小体末梢。由于突触传递过程释放到突触间隙，与下一个细胞突触后膜相应受体结合，使后膜产生兴奋或抑制影响。发挥作用后递质失活或被前膜重新摄取，使作用终止，以保证作用的灵活性。一个神经元的轴突末梢只释放一种递质，有的递质对突触后膜产生兴奋性影响，如乙酰胆碱。有的则产生抑制性影响，如 γ -氨基丁酸。

同一种递质对不同突触后膜可以有不同的作用，如迷走神经末梢分泌递质为乙酰胆碱，对心脏产生抑制效应。但对胃腺壁细胞却产生兴奋效应，促使壁细胞分泌增加。在不同部位，由于结合受体不同，有的为兴奋性影响，有的为抑制性影响。如交感节后神经元末梢递质为去甲肾上腺素，与平滑肌 α 受体结合，使平滑肌收缩；与 β 受体结合，则使平滑肌松弛。

【反射】在中枢神经系统参与下，机体对内外环境刺激产生的规律性反应。神经系统的活动无论多么复杂，都是反射活动。根据它的形成特点分为非条件反射和条件反射。根据效应器可分为躯体反射和内脏反射，前者是调节骨骼肌的反射活动，由躯体神经控制。后者是调节心血管、内脏器官活动及腺体分泌，由植物性神经控制。通过反射，神经系统控制调节体内各器官活动，彼此相互协调，并与外环境密切联系，相互统一。

【反射弧】完成反射活动所经过的神经通路。一个完整的反射弧包括感受器、传入神经、中枢、传出神经、效应器五个部分。感受器将内外环境刺激的能量转化为神经上的动作电位。传入神经将神经冲动由外周传向中枢。通过中枢的分析综合，再将神经信息由传出神经从中枢传向外周效应器。效应器是产生应答反应的器官，即肌肉和腺体。最简单的反射弧只有传入和传出两个神经元，为单突触反射。在传入和传出神经元间有一个以上中间神经元的，为多突触反射，中间神经元越多反射活动就越复杂。临床上检查各种简单反射有助于发现神经系统病变。病变发生在反射弧任何部位，可使反射消失或低下。病变在高级神经中枢，由于失去高级中枢的控制而出现病理反射。

【神经中枢】又称反射中枢。中枢神经系统中，调节某一生理活动的神经细胞群。每种反射的中枢部分称为该反射的中枢，如心血管中枢，呼吸中枢、排尿中枢等。控制某一反射的中枢分布在中枢神经系统不同部位，有低级（基本）与高级神经中枢之分。如控制呼吸节律的基本中枢是延髓吸气中枢与呼气中枢及脑桥呼吸调整中枢，高级中枢在下丘脑和大脑皮层。

【非条件反射】先天就有的反射活动。在种族进化中形成，有种族差别，没有个体差异，反射弧固定。如角膜反射、腱反射、哺乳类新生儿的吸吮反射、食物刺激口腔粘膜引起唾液腺分泌等，都是与摄食、防御、性活动有关的反射。它们是由非条件刺激物引起、不经过学习就会的反射活动，使机体具有基本适应环境的能力。

【条件反射】个体在后天经过学习逐步建立的反射活动。由于个体生活环境不同，这种反射有明显的个体差异。苏联科学家巴甫洛夫的经典条件反射实验，利用无关刺激（中性刺激）与非条件刺激多次结合建立条件反射，无关刺激变为有信号意义的条件刺激物。条件反射的反射弧是暂时性的神经联系，是易变的。由于个体生活环境复杂，可建立无数条件反射，扩大了机体适应环境的能力。动物只能对具体的外界刺激物建立条件反射，除此之外，人还能对语言文字建立条件反射。

【锥体系】哺乳动物大脑皮层对躯体运动控制的径路之一。布鲁德曼对大脑皮层分区法的第四区皮层第五层贝茨细胞（Betz's cell），

以及第四、第六区皮层第三层的大锥体细胞，称上运动神经元，它们的轴突组成下行传导束，经内囊、中脑大脑脚、脑桥基底部到延髓腹侧，聚集成锥体，在锥体下端大部分纤维经锥体交叉到对侧，终止在同侧前角运动神经元。不交叉纤维一般只达胸节，再交叉到对侧前角运动神经元，以上称皮质脊髓束。锥体系下行途中，在脑干部位，与双侧脑神经运动核联系（除舌下神经核和面神经核支配下部面肌的细胞群接受对侧纤维）组成皮质脑干束。前角运动神经元和脑神经运动核细胞称下运动神经元。大脑运动区对躯体运动控制是对侧性的，而头面部绝大部分为双侧性支配，它们引起个别肌肉的收缩，而不是肌群运动。一般六区控制四肢近端肌肉，四区控制四肢远端肌肉。控制手和头面部复杂而精确运动的皮层神经元较多；在皮层所占范围较大，而控制躯干运动的皮层神经元较少，在皮层所占的范围相对较小。

【锥体外系】锥体系以外的控制骨骼肌活动的结构。包括大脑皮层、纹状体、小脑、网状结构等，它们的神经元在脑部多次换元后，影响支配骨骼肌的运动神经元。鸟类以下的脊椎动物，纹状体是最高控制运动的中枢。而哺乳类的锥体外系只是起辅助作用，调节肌紧张、协调肌肉活动、维持姿势有关的活动。在锥体外系调节适宜姿势与肌张力情况下，锥体系进行精细的随意运动。

【神经调节】机体通过反射活动调节各器官系统机能的一种方式。机体适应外界环境复杂变化，通过神经调节产生相应反应，并调节与协调体内各器官活动，使机体成为统一整体。如调节循环机能的减压反射和调节躯体运动的姿势反射等等。与体液调节相比，神经调节的调节速度快而精确，可及时发生及时停止。神经冲动

沿着专门的途径到一定器官，影响的范围比体液调节小。它与体液调节共同调节机体全身机能。但内分泌腺大多直接或间接受中枢控制，体液调节成为神经调节传出部分的一个环节，常称神经-体液调节。从整体上看，神经调节处于主导作用。

感觉器官

【感受器】具有感觉神经末梢、能将某种刺激的能量转化为神经冲动的特殊感受装置。一种感受器对某一形式能量的刺激特别敏感，称感受器的适宜刺激。光波是光感受器的适宜刺激，光感受器能将光能转变为神经冲动。根据刺激物的特点可将感受器分为：机械感受器（如触觉、压觉、听觉感受器）、温度感受器、光感受器、化学感受器（味觉与嗅觉感受器）。根据感受器所在部位：分布在体表或接近体表、感受外环境变化的称外感受器。它是外界信息进入神经系统的唯一途径，如皮肤中的感受器，以及眼、耳等。内感受器分布在机体内部，感受机体内环境变化，如肌梭、动脉中牵张感受器等。根据结构的复杂性分为一般感受器与特殊感觉器官。感觉器官包括感受器及附属结构，附属结构起支持、保护、提高感受效能的作用。眼为视觉器官，其中视网膜为光感受器。

【感受器换能作用】感受器将刺激能量转变为神经冲动的过程。每种感受器在适宜刺激作用下产生局部去极化，称感受器电位（后动电位）。它是一种局部电位，不能传播，电位幅度随刺激强度增加而增大，电位可以总和，达到一定电位时，即可形成动作电位，

成为神经冲动，沿传入神经传向中枢。刺激强度增加，一根神经纤维上动作电位的频率增多，也使更多的传入神经纤维兴奋，向中枢传送神经冲动。

【眼球】感受光波刺激的感觉器官。位于眼眶前部，后面借视神经连于间脑。包括眼球壁和屈光系统。眼球壁的外膜（纤维膜）前 $1/6$ 为角膜，透明、无血管，有丰富感觉神经末梢。后 $5/6$ 为巩膜，不透明、乳白色，起支持作用。中膜（血管膜）包括虹膜、睫状体和脉络膜。虹膜为圆盘形，中央的孔称瞳孔。虹膜中环形排列的平滑肌为瞳孔括约肌，受副交感神经控制，收缩时使瞳孔缩小。辐射排列的开大肌受交感神经控制，收缩时使瞳孔开大，它们可调节射入眼球内的光量。虹膜的颜色因人种而不同。睫状体的突起为睫状突，上面附着的纤维为悬韧带，与晶状体相连。睫状体内的平滑肌为睫状肌，受副交感神经支配，收缩时放松悬韧带，使晶状体凸度增加。脉络膜占中膜后 $2/3$ ，含丰富血管和色素细胞，起暗箱作用。内膜为视网膜，紧贴脉络膜的为色素上皮层，向内为感光细胞层，包括视杆细胞和视锥细胞，再内为双极细胞和神经节细胞层，视网膜全部神经节细胞的轴突集中后，由眼球后方的视盘（视神经乳头）处穿出，形成视神经。视盘处无感光细胞，为盲点。在视盘外侧（颞侧）约 3.5 毫米处的黄色区域称为黄斑，此处只有视锥细胞，无视杆细胞，中央的凹陷为中央凹，是视力最敏锐处。眼的屈光系统包括角膜、房水、晶状体、玻璃体。房水由睫状体产生，存在于角膜与晶状体之间，有营养角膜、晶状体和维持眼内压的作用。晶状体为直径约 10 毫米、中心厚 4 毫米的弹性双凸透镜，无血管和神经。玻璃体为无色透明胶状物，有支持视网膜的作用。外界物体经屈光系统在视网膜上成象。

【眼副器】眼球之外，对眼球起保护、支持、运动作用的结构。包括眼睑、结膜、泪器、眼外肌等。眼睑俗称眼皮，分上、下眼睑，保护眼球，防止外伤和干燥，外面为皮肤，里面为结膜，睑缘有睫毛，其根部有睫毛腺，发生急性炎症为麦粒肿。皮下肌层的上睑提肌可提上眼睑。环形的眼轮匝肌收缩可闭眼，皮下的睑板由致密结缔组织构成，内有睑板腺，开口在睑缘，分泌油样液体，可润滑睑缘防止泪液外溢，若被阻塞则形而成霰粒肿。结膜是薄的粘膜，覆盖在眼睑后面与巩膜表面，分别称为睑结膜与球结膜，分泌物起润滑作用，减少与角膜的摩擦。泪器由泪腺和泪道构成。泪腺在眼眶外上方，有 10—20 条小管排出泪液，它可湿润眼球，清除灰尘异物，有轻度杀菌作用，过多泪液经眼内侧的上下泪小管进入泪囊、鼻泪管。鼻泪管开口在下鼻道外侧壁上。眼球外有六条肌肉，均为骨骼肌，分上、下、内、外直肌及上、下斜肌，分别受动眼、滑车、展神经支配，使眼作多方向运动。提上睑肌可提上眼睑，即睁眼。

【眼的调节】眼由视远物到视近物时，产生的一系列调节活动。包括晶状体调节、瞳孔调节和视轴会聚。视远物时，睫状肌松弛，悬韧带紧张，晶状体囊绷紧，晶状体曲度小，折光力小，来自物体的平行光线在视网膜上成清晰物象。当视近物时，反射性使睫状肌收缩，悬韧带松弛，晶状囊变松，晶状体曲度增大，折光力加强，使近物也能在视网膜上聚焦，形成清晰物象。这种调节并非无限的，经最大调节能看清物体的最近距离为近点，它的距离随年龄而增加，青年时期增加缓慢。40—50 岁后，晶状体弹性降低，睫状肌逐渐萎缩，调节机能减退，使近点远移，形成老视，俗称

老花眼。看近物时，随晶状体的调节，副交感神经兴奋，使瞳孔括约肌收缩，瞳孔缩小，可减少球面象差与色象差，使成象更清晰。同时，受内直肌作用，两眼视轴向鼻侧会聚，使双眼都在中央凹处成象，形成清晰视觉。

【视觉】大脑皮层对外界光波刺激特征的感觉。视网膜上的感光细胞接受物象的光刺激，细胞中的感光色素产生光化学变化，释放出能量，激发细胞产生电变化，在感光细胞完成换能作用。神经冲动经双极细胞传到神经节细胞，由视神经传出。在视交叉处，两眼视网膜鼻侧来的纤维交叉到对侧，而颞侧来的纤维不交叉，经视束传到间脑外侧膝状体，在此换神经元，其轴突经内囊投射到大脑皮层枕叶距状裂周围，引起视觉。这样，左侧枕叶皮质接受左眼颞侧和右眼鼻侧视网膜的传入神经投射，而右侧枕叶皮质接受右眼颞侧和左眼鼻侧视网膜传入神经投射。视束中的一部分纤维到中脑上丘参与眼调节反射、瞳孔对光反射、视觉运动反射等活动。视觉在人们从外界获得信息中占有极重要地位。

【视觉二元学说】关于视网膜上两种感光细胞不同机能的学说。在黄斑只有视锥细胞，无视杆细胞，每一视锥细胞与一个双极细胞、一个神经节细胞单线联系。越向视网膜外周，视锥细胞逐渐减少，视杆细胞逐渐增多，并且多个感光细胞与双极细胞，神经节细胞联系。黄斑处的视觉称中央视觉，视敏度高，有色觉。黄斑以外的视觉为周边视觉，视敏度低，仅为中央视觉 $1/40$ ，色觉不完善，最边缘处无色觉。仅在白昼活动的动物，如鸡，其视网膜只有视锥细胞。仅在夜间活动的动物，如猫头鹰、蝙蝠，其视网膜只有视杆细胞。根据一些事实，视觉二元学说认为：视杆细胞专司暗

光觉，对弱光敏感，感知明暗和物体的粗大轮廓；视锥细胞司明视觉和色觉，对物体细微结构和颜色分辨能力强，而对弱光不如视杆细胞敏感。

【色觉三原色学说】解释色觉现象的学说之一。实验发现：视网膜上有三种不同视锥细胞，分别含有三种不同感光色素，称为感红、感绿、感蓝视锥细胞。若分别受红、绿、蓝单色光刺激，均兴奋各自视锥细胞，传到大脑皮层相应细胞，分别引起三种不同色觉，为基本色觉。当三种视锥细胞同等地受到刺激时，产生白色感觉。三种视锥细胞受到不同程度刺激时，则产生各种颜色的感觉。人眼能感受波长 400—700 毫微米之间的光波，各种波长混在一起的光引起白色光觉，对单一波长的光波引起相应色觉。波长只要相差 5 毫微米，人眼就可产生不同色觉。

【耳】又称位听器。听觉和位置觉的器官。分外耳、中耳、内耳。外耳、中耳收集与传导声波，内耳中有声波和位置觉感受器。外耳包括耳廓、外耳道与鼓膜。耳廓主要以软骨为支架，外被皮肤，血管神经丰富，皮下组织少，下方耳垂无软骨，含结缔组织。外耳道外 $\frac{1}{3}$ 为软骨部，内 $\frac{2}{3}$ 为骨部，内衬皮肤，含毛囊、皮脂腺和耵聍腺。耵聍腺分泌物耵聍（耳垢），有保护作用。鼓膜为半透明薄膜，呈斗笠状，弹性强，随声波振动，同始同终。中耳包括听小骨、鼓室、咽鼓管、听肌。锤骨紧贴鼓膜，镫骨底紧抵前庭窗，锤骨、砧骨、镫骨共同形成杠杆，使传导的振动振幅减小，而对前庭窗压力加强，以保护内耳。中耳腔又称鼓室，它与咽的通道为咽鼓管，平时关闭，吞咽、打呵欠时启开，可调节鼓膜两侧压力以保护鼓膜。内耳包括半规管、前庭及耳蜗。半规管分上、

后、外三个互相垂直的半规管，管内的壶腹嵴是旋转变速运动的感受器。前庭有椭圆囊与球囊，壁上的囊斑是位置觉感受器，感受头部位置或直线加、减速运动的位置变动。耳蜗是螺旋形管道，骨迷路内含外淋巴液，蜗管（膜迷路）内含内淋巴液。蜗管基底膜上的螺旋器（柯蒂氏器）是听觉感受器，其中毛细胞游离面有听毛，基底部有位听神经末梢分布。基底膜从蜗底至蜗顶逐渐加宽。蜗管中有一胶骨膜称盖膜，可与毛细胞听毛接触。

【听觉】大脑皮层对外界声波刺激特征的感觉。外耳收集声波，鼓膜、听小骨杠杆系统传导声波，使内耳淋巴液振动，基底膜振动，螺旋器上毛细胞与盖膜相对位置发生变化，使毛细胞膜电位起变化，产生一种局部电位，称微音器电位，再转变为位听神经上的动作电位。传到脑桥蜗神经核，大部分纤维交叉到对侧，小部分纤维不交叉，上行到间脑内侧膝状体，再经内囊投射到大脑皮层的颞上回和颞横回，对传入冲动进行分析综合，产生听觉。上行途中，有部分纤维到中脑下丘，完成听反射。人耳能接受 16—20000 赫兹的声波，而对 1000—3000 赫兹的声音最为敏感。人对声源方位判断与双耳的听觉有关，并需大脑两半球的判断。

【听觉行波学说】解释耳蜗对不同频率声音分析的一种学说。声波通过鼓膜和听小骨的传导，作用于前庭窗，使耳蜗淋巴液振动，基底膜就以一种行进的波振动。基底膜全长约 30 毫米，其中有 24000 条纤维。靠近前庭窗处，纤维长 0.04 毫米，越向蜗顶逐渐加长，在蜗顶可达 0.5 毫米。行波最大振幅的部位随不同频率声波而不同。声波频率越高，行波在基底膜上推进的距离越短，最大振幅的部位越接近前庭窗。声波频率越低，行波推进距离越远，

最大振幅所在部位越接近蜗顶。在基底膜最大振幅的部位，听觉感受器的毛细胞受到的刺激最强，由传入神经传导的冲动频率最高，信息传到大脑皮层听觉中枢，就获得对某种音调的感觉。因此，基底膜对不同频率的声波已有初步的分析。

【味觉】对溶在液体中的有味物质的感觉。味感受器为味蕾，主要在舌背面，会厌、软腭、咽部也有少量分布。味蕾中的味细胞游离面有纤毛，味细胞周围有感觉神经末梢包围。有味物质刺激味细胞兴奋，舌前 $2/3$ 由面神经、舌后 $1/3$ 由舌咽神经、咽部由迷走神经将冲动传向中枢，经延髓、丘脑到大脑皮层中央后回最下部的味觉中枢引起味觉。酸、甜、苦、咸为四种基本味觉，其他味觉是基本味觉相互配合产生的。人感受甜味的感受器多分布在舌尖，感酸味的多在舌两侧，感苦味的多分布在舌根，感咸味的多在舌两侧的前部。味觉常受其他感觉的影响，如嗅觉可提高味觉敏感度。刺激物温度在 $20—30^{\circ}\text{C}$ 时，味觉敏感度最高。动物实验证明：味觉的辨别使动物能根据自己体内的需要选择食物。

【嗅觉】对有味气体的感觉。嗅感受器是位于鼻腔上鼻甲和相对的鼻中隔的嗅粘膜。其中嗅细胞为感觉神经细胞，有嗅毛伸向膜表面的粘液中，细胞另一端为长突起，许多细胞突起聚集成嗅神经。挥发性气体分子先溶于粘液中，再刺激嗅毛。嗅细胞完成换能作用，神经冲动由嗅神经传导。嗅神经由筛骨筛孔进入颅腔，终止在嗅球，与第二级神经元相突触，嗅球的轴突向后延长为嗅束至嗅三角。纤维传向大脑颞叶海马回钩、齿状回，产生嗅觉。嗅觉很容易产生适应。与狗、猫等动物相比，人的嗅觉比较迟钝。

【皮肤感觉】又称浅感觉。皮肤的冷、温、触-压、痛等感觉。脊神经与三叉神经的感觉纤维在真皮或皮下组织形成游离神经末梢或特殊感受器。如环层小体（Pacini 氏小体）和触觉小体（Meissner 氏小体）为压觉感受器，毛根周围的神经末梢感受触觉刺激，痛觉感受器为游离神经末梢。轻微机械刺激皮肤或毛发受触动引起触觉，使皮肤变形的较强机械刺激引起压觉，高于皮肤温度的刺激兴奋温觉感受器，低于皮肤温度的刺激兴奋冷觉感受器。感受器兴奋换能后，分别通过一定神经传导径路传到大脑皮层中央后回感觉中枢，引起相应感觉。身体一侧的浅感觉绝大部分投射到对侧大脑皮层。人体的唇、舌尖、指尖、鼻的触觉很灵敏。

【内脏感觉】指内脏痛觉和饥饿、恶心等感觉。由植物神经中的感觉纤维传入信息。在心血管系统、呼吸、消化、泌尿等器官系统有很多感受器，感受牵张、压力、温度、化学物等刺激，并通过感觉神经传入脊髓或延髓完成内脏反射活动。这些感觉神经多存在迷走神经干、交感神经的内脏大神经、盆神经中。它们在大脑皮层的投射区很小，没有精确分布。内脏感受器的传入冲动，有的不引起感觉，有的可引起感觉，如饥饿、膀胱胀满等。内脏器官对伤害性刺激，如切割、烧灼不一定引起痛感，而对机械牵拉、缺血、痉挛、炎症却很敏感。一般内脏感觉比较迟钝、持久、定位不精确、分辨能力差。

内分泌系统

【内分泌系统】通过激素调节生命活动的器官系统。由内分泌腺和内分泌组织组成，分泌物称为激素。在人类，前者形成腺体器官，无导管，如脑垂体、甲状腺、甲状旁腺、肾上腺、松果体；后者指内分泌细胞团，分散在某些器官组织中，如女性卵巢中的卵泡与黄体、男性睾丸中的间质细胞、胃肠道粘膜和神经系统中的内分泌细胞、胰脏中的胰岛、肾小球旁器等。细胞分泌激素经血液或淋巴，影响邻近或远离的有关细胞，调节其生理活动。内分泌系统直接或间接地受神经系统控制，有的激素还可影响脑的发育和正常机能。丘脑下部某些神经核，既属神经系统，有传导冲动的能力，又能产生神经激素，兼有内分泌机能。

【激素】内分泌细胞和腺体的分泌物。通过体液途径发挥调节作用，被激素作用的器官或细胞称靶器官或靶细胞。多数激素只对一定的组织细胞或某一机能产生影响，称特异性。如甲状旁腺激素调节钙的代谢等，雌性激素影响雌性性征。激素只影响机体已存在的代谢反应，起加强或减弱的作用，并不发动新的机能或反应，也不向组织提供物质或能量。在血液中含量甚微，100 毫升血中仅含几微克或几毫微克，但对机体物质代谢、生长、生殖等机能产生重大影响。激素发挥作用后，在体内不断失去活性排出体外。激素分泌不足或过多，可使机能紊乱产生疾病。按化学结构，激素可分为：（1）含氮类激素，包括蛋白质类、多肽和氨基酸衍生物。

绝大多数易被消化酶分解、破坏，不宜口服（甲状腺素除外），如甲状旁腺素、胰岛素、生长素、抗利尿激素等。（2）类固醇（类甾醇）激素，这些激素不易被消化酶分解，一般可口服，如性激素、肾上腺皮质激素等。（3）脂肪酸衍生物，如前列腺素。

【下丘脑激素】人类下丘脑某些神经细胞产生的肽类激素。一类是视上核和室旁核产生的加压素（又称抗利尿激素）和催产素，它们在神经核胞体部分的细胞质合成后，贮存于囊泡中，沿下丘脑垂体束轴突的胞浆运输到神经垂体，在神经末梢贮存，在适当刺激时再释放入血；另一类是下丘脑结节区神经细胞胞体产生的释放激素或释放抑制激素，它们沿神经轴突的胞浆，运输到下丘脑正中隆起的神经末梢，此处毛细血管丰富，血管汇成垂体门脉，通向腺垂体，在腺垂体处又分支成毛细血管。下丘脑结节区产生的神经肽类激素，通过垂体门脉系统，调节腺垂体的分泌活动。

【脑垂体】脊椎动物最重要的内分泌器官。人的脑垂体悬垂于间脑底面，与下丘脑的漏斗相连，位于蝶鞍背面垂体窝内，呈椭圆形。成人的垂体似豌豆大小，重约 0.6 克。根据胚胎发生和组织结构分为腺垂体与神经垂体。腺垂体属腺体组织，分泌多种“促激素”，以及生长激素、生乳素和黑色细胞刺激素。通过促激素调节甲状腺、肾上腺皮质，男女性腺的机能。生长激素加速骨和软骨的生长，促进蛋白质合成。幼年时分泌过多会造成巨人症，分泌过少造成侏儒症。成年分泌过多造成肢端肥大症。生乳素可促使已发育好的乳腺分泌乳汁并维持泌乳。黑色细胞刺激素促使表皮黑色素的合成，使肤色加深。神经垂体属神经组织，由大量无髓鞘神经纤维、神经胶质及垂体细胞组成，起贮存激素的作用（参

见“下丘脑激素”)。抗利尿——加压素除能促进肾小管和集合管对水的重吸收外，大剂量时还可刺激小血管平滑肌收缩，使血压升高。催产素在分娩和哺乳时发挥作用，促进妊娠子宫平滑肌的收缩和乳腺周围肌上皮细胞收缩，使乳腺射乳。

【甲状腺】人体最大的内分泌腺。在甲状软骨前下方，分左右两叶，形似蝴蝶。由许多单层立方上皮细胞围成的腺泡组成，腺泡间结缔组织血管丰富。腺泡腔内贮存分泌的甲状腺激素，包括三碘甲腺原氨酸和四碘甲腺原氨酸（甲状腺素），合成激素的原料是碘和酪氨酸。甲状腺激素能促进机体生长、发育和成熟，对骨的发育影响很大；促进物质代谢和能量代谢，使组织内糖和脂肪氧化分解活动增强，耗氧量、产热量增加；正常情况下，促进蛋白质合成，但超过正常生理剂量反使蛋白质分解加快；可促进神经系统发育，提高其兴奋性。分泌不足时，使神经纤维的髓鞘形成延缓，大脑皮层神经细胞体积和突起数目减少，对一岁以内婴儿脑的发育影响极大。甲状腺腺泡间的“C”细胞分泌降钙素，可使血钙与血磷降低。与甲状旁腺激素共同调节内环境钙离子的相对恒定。

【甲状旁腺】分泌调节体内钙、磷代谢激素的内分泌腺。除硬骨鱼、圆口类、板鳃类未发现外，所有脊椎动物都存在。人的甲状旁腺为两对扁圆形小体，似绿豆大小。位于甲状腺左右叶后缘，或埋于甲状腺内。产生的甲状旁腺激素从三方面影响钙磷代谢：（1）促进破骨细胞的生成，加强其溶解骨质的作用，使钙盐释放入血。（2）促进肾小管对钙的重吸收，抑制磷的重吸收。（3）通过活化的维生素 D₃，间接使肠道吸收的钙离子增加。总的效应使血钙增加、血磷减少。

【胰岛】胰脏的内分泌部分。人的胰岛散在胰脏各处，为大小不等的细胞团，以胰头分布最多。包括五类细胞，主要有 α 细胞和 β 细胞，前者分泌胰高血糖素，后者分泌胰岛素。胰岛素是含 51 个氨基酸的小分子蛋白质。1965 年中国首先用化学方法人工合成有高度生物活性的结晶牛胰岛素，在合成蛋白质领域取得重大进展。胰岛素可加速血中葡萄糖进入组织细胞；使葡萄糖在肝脏和肌肉内合成糖元；抑制一些非糖物质（某些氨基酸、甘油、乳酸）转变成葡萄糖或糖元的过程。总的效应是使血糖下降。它还促进脂肪合成，抑制脂肪分解。促进氨基酸合成蛋白质，抑制蛋白质分解。在胰岛素存在时，生长激素才能发挥作用。胰高血糖素与胰岛素作用相反，可使血糖升高。

【肾上腺】重要的内分泌腺。人的肾上腺位于两肾的上内侧，左侧为半月形，右侧为三角形。外层的皮质来自中胚层，内层髓质来自外胚层。人的皮质与髓质比约 9 : 1，它们结构与机能都不相同。肾上腺皮质又分外、中、内三层。外层的球状带分泌盐皮质激素（如醛固酮），可促进肾小管对钠离子和水的重吸收，增加钾离子的排出。中层的束状带分泌糖皮质激素（如氢化考的松、皮质酮），主要调节糖、脂肪、蛋白质代谢，促进肌肉、结缔组织蛋白质的分解，加速氨基酸在肝中生成糖原，抑制葡萄糖氧化，使血糖升高。它还促进脂肪组织中的脂肪分解，影响体内脂肪的重新分布。机体遭受有害刺激，如创伤、麻醉、寒冷、恐惧、疲劳、疼痛时，糖皮质激素分泌大增，发生应激反应，使机体耐受力增加。它可抑制淋巴组织，减少抗体的生成，因此减轻过敏反应，可用于抗过敏治疗。它还降低毛细血管的通透性，使渗出减少，减轻

炎症部位的症状，可用于抗炎症，抗休克治疗，但它本身无抗菌作用。内层的网状带分泌雄激素和少量雌激素，可能与性行为 and 副性征出现有关。肾上腺髓质由嗜铬细胞组成，胞质中的嗜铬颗粒含肾上腺素与去甲肾上腺素。肾上腺素可加快心率，增强心肌收缩力，使皮肤、腹腔小动脉收缩，心肌、骨骼肌的血管舒张，胃肠道、支气管平滑肌舒张，血糖升高。去甲肾上腺素可使全身小动脉（冠状动脉除外）收缩，其他作用似肾上腺素，但表现较弱。

【前列腺素】多种组织产生的一种局部激素，属脂肪酸类激素。因最初误以为由前列腺分泌而得名。它是一组不饱和的 20 碳脂肪酸，根据分子中环戊烷上的差别，分为 PGE、PGF、PGA 和 PGB 四类。前列腺素有广泛的生理作用，对各种平滑肌有很高的生物活性，PGA 和 PGE 使血管平滑肌松弛、血压下降。PGE 和 PGF 对非血管平滑肌主要是使其收缩。在脑组织中也存在各种前列腺素，它们在中枢可能起递质作用，在细胞内还可能起传递激素信息和调节激素的作用。有的激素作用于靶细胞时，首先与膜上受体结合，促使膜上合成前列腺素，由它来激活腺苷酸环化酶和环一磷酸腺苷（cAMP）系统。因此有人将前列腺素称为第二信使，而将 cAMP 称为第三信使。

【松果体】又称脑上腺。一种内分泌腺。人的松果体位于中脑上丘之间凹陷内，与第三脑室顶有一短柄相连，为椭圆形小体。由松果体细胞和神经胶质细胞组成。松果体细胞分泌的基质在结缔组织中钙化形成了脑砂，在 10 岁前少见，数量随年龄而增加，脑砂的量与松果体细胞激素的合成呈正相关。有人认为钙化的出现并不表明松果体萎缩，而是分泌活动的结果。松果体细胞分泌黑素

紧张素（褪黑激素），它通过抑制腺垂体促性腺激素的分泌，抑制性腺活动，幼年动物可制止性成熟。它还加强中枢的抑制过程，促进睡眠。它的分泌受光照影响，光照抑制分泌，黑暗刺激分泌。这种昼夜分泌的节律向中枢神经系统发放“时间信号”转而影响机体的生物节律。鱼类、两栖类的褪黑激素促使皮肤色素细胞收缩，改变皮肤颜色。

【体液调节】机体对器官系统活动的一种调节方式。内分泌细胞产生的激素和组织细胞的一些代谢产物，通过血液等体液途径调节其他器官系统的活动或物质代谢的过程。如胰岛素可使血糖降低，胰高血糖素、糖皮质激素、甲状腺素可使血糖升高，肾上腺素使心率加快、心肌收缩力加强，二氧化碳增多影响呼吸中枢，使呼吸加快等等。与神经调节相比，体液调节一般出现缓慢，作用部位比较广泛，持续时间较长。内分泌系统的活动常受神经控制，体液调节常成为神经调节传出途径的一个延长部分，所以常称神经-体液调节。

动物的行为

【动物行为】动物对内、外环境刺激所作出的有利于自身生存的反应。动物的有些行为是明显的，如取食、求偶、格斗、竖耳、摆尾、鸣叫等；有的行为是不明显的，如静止不动、注目凝视等。研究动物行为的科学称行为学，是生物学的一门新兴学科。它研究

动物行为产生的原因、行为的适应功能、行为的遗传和进化等。它牵涉到生理学、解剖学、生态学、进化生物学和数学分析等学科的方法和原理。行为学的研究有助于揭示动物的生态、生理、形态和进化、遗传的某些规律。对于拯救濒危动物、驯化野生动物具有重要意义。目前对动物行为的分类尚未统一，通常包括四种类型。(1) 按行为的因果关系划分，即将同一诱导因素产生的行为归为一类，如雄性激素可使动物活动频率增多、活动强度加大，日照时间增长，能使体内激素水平发生变化，引起鸣叫等。(2) 按动物行为的功能划分，如摄食行为、性行为、亲仔行为、领域行为、进攻行为、躲避行为、模仿行为等。(3) 按行为的起源划分，即将同一起源的行为归为一类，如定型行为、趋同行为、趋异行为等。(4) 按获得某种行为的途径划分，如先天行为、学习行为等。

【攻击行为】动物用以伤害或吓退同种或异种个体的行为。主要包括侵犯、攻击、竞争、防御和逃遁等行为。同种个体为占领区域或争夺食物而出现攻击行为时，常不经过格斗，只需作出威胁姿态，驱赶或迫使对方离开。如犬科动物的咆哮、露牙、竖毛，鹿科动物的垂耳、伸颈和将角尖指向对方等，这样避免双方直接格斗，减少危害和损伤。一般食肉动物捕食小型动物时，常栖息在隐蔽物较多的地方，用伏击的方式进行。大型捕食动物的攻击行为常是先缩短与猎物的距离，然后在一定距离内，以最快的速度进行追击。

【防御行为】猎物对捕食者产生的一系列适应性行为。捕食者与猎物的相互关系是长期协同进化，逐步适应形成的。捕食者有捕杀

猎物的攻击行为，猎物则具有反攻击的防御行为。(1) 表现出警戒色。如东方铃蟾受惊扰时，翻转前后肢，以醒目的颜色警告对方。(2) 报警鸣叫。鸟类和哺乳类的某些种类，遇到潜在危险时常发出音调高、频带窄的声音，以告诫同类，如猴类中，雄猴占据制高点，一旦发现捕食者，就发出报警鸣叫，群猴迅速离散。(3) 结群御敌。如麝牛 (*Ovibus moschatus*) 遇狼群围攻时，常围成一圈，壮麝牛位于最外层，易受攻击的个体在中间，头一律向外，角对准狼群，构成难以攻破的防线。(4) 迷惑捕食者，如黑斑羚 (*Aepyceros melanpus*) 受惊时，各自向不同方向逃逸，使捕食者迷惘不前。(5) 结群生活。猎物群居也是一种防御行为，猎物群体越大，其中个体被猎杀的机会就越小。

【繁殖行为】动物繁衍后代过程中出现的一系列行为。主要包括：

(1) 求偶行为。指性活动前奏动作和伴随性活动的全部行为。首先是吸引活动，一般是雄性吸引雌性，如雄鸟的鸣叫、炫耀等。吸引活动只能使同种异性产生反应。吸引住后，就激发对方的性欲，使双方的性行为协调。动物还有选择生殖潜力大的个体作配偶的本能，如雄杜父鱼 (*Cottus gobio*) 以攻击行为选择雌鱼作配偶，一攻击就逃跑者不能被选中。(2) 交配行为。指促使两性配子结合的行为，如三刺鱼 (*Gasterosteus aculeatus*) 雄鱼筑巢后，雌鱼钻进巢内，雄鱼不断以咀碰其尾以刺激排卵，雌鱼排卵离巢后，雄鱼入巢排精，在水中完成交配过程。(3) 育幼行为。指亲体尽力保证受精卵的结合和幼体成活的一系列活动。如鸟类的孵化、育雏；哺乳类的哺乳等一系列复杂行为。

【定向行为】动物对环境空间具有定向能力的行为。动物在寻找食

物、追求配偶、回归巢穴、建巢筑窝、迁徙洄游等活动中，均需辨别方向和距离，才能到达要去的地方。如雁鸭类秋天的迁徙，其方向总是正南方，尽管在寻食和休息时，时东时西、时南时北，但重整队伍后，总是严格保持南飞的方向。春天太平洋西北部的鲑鱼群洄游时，尽管有大浪冲击，最终还是准确无误地到达产卵区。这些显示着动物具有高超的定向功能。准确的定向行为，需要内部机制的决定与外界信息的提示相结合，才能表现出来。

【社群行为】又称群体行为、社会行为。在同种个体（两个以上）间，除性关系以外的一切形式的联系行为，均为社群行为。社群行为一般包括亲属关系、社群等级、食物分配、通讯联系等等。亲属关系中，最明显的是双亲护幼行为，其他亲属间出现互助合作、抑制竞争等行为。亲属关系有利于社群向彼此产生利他行为的方向演化。社群等级是指各个动物在社群中按照一定顺序所处的主从地位，主要有三种模式：（1）独霸式。群内只有一个支配者，其他个体均服从支配者，彼此不再分等级，如长尾吼猴。（2）单线式。群内个体呈单线支配，甲制乙，乙制丙，丙制丁，…，如猕猴。（3）循环式。群内个体甲制乙，乙制丙，丙制甲，如原狐猴。在食物分配上，一些从属个体觅得的食物常常被支配者抢走。在灵长类和食肉类中，互相分享食物的现象亦较常见。通讯联系是社群内的个体，通过视、听、嗅觉彼此联系，以达到互相识别、减少格斗、动作同步等目的。

【节律行为】动物的生理机能，呈现出一种重复的节律性活动。动物的节律行为包括有昼夜节律、月运节律和季节节律。昼夜节律大约 24 小时为一周期。在自然界，动物的活动周期与日夜长短周

期一致，即使把动物放于恒定状态下，它们仍然表现出节律性活动，例如将几种哺乳动物在同样条件下饲养，其睡眠时间却很不同，在 24 小时内，二趾树懒睡 20 小时；美洲虎睡 11 小时；长颈鹿睡 4 小时等等。这是因为各种动物由不同的生活方式形成的节律行为不同所致。月运节律是指动物活动与月份有关。如加洲银鱼，雌鱼每年 1 月乘最大潮汐冲至沙滩产卵，潮水退回时，沙内受精卵孵化，下次潮汐来到时恰值小鱼孵出，从而被潮水带回大海生活。季节节律指动物活动与季节相关，如鸟类迁徙等。

【生物钟】又称生物节律、生理钟。即动物体内调节动物行为和生理变化节律的机构。动物活动周期与自然界的周期具有同步现象，如昼行性动物或夜行性动物。在实验室内，改变昼夜、季节等外界节律，观察到有的动物依然存在着自身节律性。如招潮蟹，在无昼夜区别的条件下，依然保持着昼色深、夜色浅的节律。可见保持节律现象是在动物体内具有生物钟机制。另一方面，生物钟也是受外界影响的，如钟表一样，可以调拨。当逐渐改变昼夜环境时，鼠类也能改变昼伏夜出的规律。生物钟如遇到外界的抑制性因素，其节律变化停止，如动物被低温处理就不出现节律变化。当抑制因素取消，恢复正常外界节律时，生物钟又与外界同步化。

【利他行为】社群行为中的一种，它对自身无直接利益，甚至有危险，但对群体或群体中的某个个体有益的行为。利他行为有利于社群的巩固，有利于种族的延续。如大狒狒 (*Papio ursinus*) 群体取食时，至少有一雄猴担任警卫，发现入侵者，立即发出警告声，并进行防卫攻击；非洲豺狗，当母豺狗意外死亡后，群体中的成员能合力养育幼豺。利他行为并非动物的意识表现，而是对种群

有益的一种本能表现。

【先天行为】又称本能行为、定型行为，即动物在长期进化过程中，通过遗传，自身早已形成的一系列适应性行为。如初生的有袋类动物，虽发育不全，但能爬入育儿袋衔住乳头；杜鹃第一次离巢后，无亲鸟带领即能飞往南半球越冬。各种动物性成熟后，各自出现特有的性行为也属于先天行为，如雄刺鱼筑巢和赶雌鱼进入巢产卵；雄滑北螈 (*Triturus vulgaris*) 求偶时，展示身体色采，用尾击水和放出气味，雌螈通过视觉、触觉和嗅觉而被激起性欲。又如雄孔雀的开屏，啄木鸟的啄木和丹顶鹤的引颈高鸣等也都是先天行为。先天行为的共同特征是同一种类中个体的先天行为都是固定的模式，不受外界环境因素的影响。

【趋性】先天行为的一种。动物对环境刺激（如光、温度、湿度、化学物质、地心引力等）有显著趋近或避开的反应。趋性的特征是整个动物体发生反应。朝向刺激源的运动称正趋性；背离刺激源的运动称负趋性。有些运动（如蚂蚁、蜗牛、蛇类和狗等）能在地面造成臭迹（沉积的外激素），使同种个体发生跟随行为。跟随者靠嗅觉分辨臭迹轴线和两侧的激素浓度梯度。若偏离臭迹轴线浓度降低，为负趋性；当回到臭迹轴线浓度升高，为正趋性。正趋性驱使动物到达目的地。鱼类背部向上的游泳姿势，是由于阳光和重力双重趋性决定的。在水族箱中实验，光源来自侧面，鱼体斜向游泳。若破坏内耳，鱼体背向光源垂直游泳。光源来自下面，鱼背向下游泳。

【反射】先天行为的一种。动物对环境刺激（如强光、高温、针刺、

撞击等等)产生的定型行为。反射的特征是身体某一部分对某项单一刺激的定型反应,而不是整个身体的反应。如强光引起瞳孔收缩;针刺大腿引起屈腿;食物引起唾液分泌等。反射行为必需有动物的感觉器官、感觉神经、中枢神经、运动神经和反应器官等共同参与才能表现出来。在动物的进化中,愈高等的动物简单的反射活动愈不重要,因为,反射是一种固定的、在刺激单一无变化的情况下的反应行为。而外界环境实际上时刻都在不断地变化,环境刺激是多种多样的,高等动物有对变化着的环境刺激作出各种反应的能力,即由复杂的行为取代简单的反射活动。

【学习行为】又称后天行为。动物个体在成长过程中,从对生活经验的累积和模仿而建立起来的行为。学习行为与遗传因子几乎无关。在同种动物中,个体间的学习行为常不相同。如松鼠咬松子,松子壳上有沟纹,有经验的松鼠,顺沟纹重咬,松子很容易裂开;无经验的松鼠,在壳上乱咬,收效甚微。学习行为通过感觉器官,本能地按经验调节,结合记忆按需要改变行为,使之产生有效的结果。如幼龄黄鼬初次捕鼠,往往不是咬鼠尾就是咬鼠耳,不得要领。经随母鼬生活,学习到捕食技巧后,才逐渐完善捕食行为。在种群进化过程中,越高等的种类,学习行为越能迅速发展,在行为总量中所占比率也越大。如哺乳动物有发达的大脑和感官,能对复杂信息作出估计,扩大知觉范围。后天行为远比先天行为的潜力大。

【条件反射】原来不能引起某种反应的刺激,通过多次重复学习,变成能够产生某种反应的刺激。著名的巴甫洛夫实验证实:狗吃肉就流唾液,这是本能行为,又称无条件反射。以后,给肉前,先

开灯，两者配合，多次重复，狗照例流唾液。如改为只开灯，不给肉，狗起初流的唾液量与给肉时相同，但后来就逐渐减少。如灯和肉再次配合供给，唾液流量又恢复正常。若将灯光换为哨声或蜂鸣器，其效果相同。可见灯光、哨声、蜂鸣器与唾液之间，原来毫无联系，但通过光与吃肉流唾液这种本能行为多次联系，也能使狗见灯光流唾液，这一过程就是条件反射。条件反射必须建立在无条件反射的基础上，并通过学习才能获得。

【印痕学习】又称印记学习。学习行为的一种，是动物在早期发育阶段，迅速建立起来的一种学习行为。它是由直接印象造成的。并有长期效果。有人孵化鹅卵，观察幼鹅印痕学习。将鹅卵分为两组，母鹅孵化组和人工孵化组，两组幼鹅出壳后，分别由母鹅和人养育，互不干扰。不久，将两组小鹅放在一个箱内，母鹅和人各站一方，突然开箱，受惊的小鹅，各自跑向一方，母鹅孵育的小鹅跑向母鹅，人工孵出的跑向人。具有同样印痕行为的动物有豚鼠、绵羊、鹿、水牛，某些鸟类、多数鱼类和昆虫。某些鸟的印痕学习可以对其成年生活产生影响。如小鹅对鹅形成印记的，长成后与鹅成群结伴，与鹅求偶交配；人对鹅形成印记的，鹅与人结伴，在人面前表现求偶行为。印痕学习只能在生命的早期，神经系统处于一种特殊时期，这时才能接受这类刺激。否则就不能形成。

【模仿学习】学习行为的一种，主要表现在动物的幼年时期。幼年动物主要是模仿它的抚育者或别的成年个体的行为。模仿学习是通过间接方式，获得新经验的一种方法。如幼小黑猩猩看到成年黑猩猩用沾水的树枝，向洞穴里粘取白蚁，它立刻以同样的动作

模仿这种行为。鹦鹉、八哥等鸟类的鸣叫也是一种模仿学习。

【判断推理】一种高级形式的学习行为，是纯粹应用经验来解决问题的能力，是后天的行为发展的高级阶段。较复杂的推理行为在灵长目动物才开始有，只有人类才真正具备。现以绕道问题、原则学习、延迟反应、符号化过程为例加以说明。绕道问题，即设置障碍，使动物必须绕道而行，才能得到食物，这需要动物有一定的“悟性”。鱼类和鸟类经过一段时间尝试才能成功，大鼠和狗等很快即成功，黑猩猩还能把三只木箱摞起来然后站上去取下悬挂着的香蕉。原则学习是把经验综合起来形成原则，按原则行动。放置三件物品，其中两件相同，一件不同，让其找出不相同的一件就给食物。猴子一次就能挑出来，而大鼠就要经过反复学习才能成功。延迟反应是动物记忆的储存过程。各类动物的记忆能力（储存信息的能力）差别甚大。让处于饥饿状态的动物观察两个相同的杯子，其中一个放有食物，一个是空的，看清楚后，把动物赶回关起来，延迟一段时间再放出，让其在两个杯子间选择。大鼠和猫不能再正确选择；浣熊具有一定准确选择的能力，但延迟时间不能太长；灵长类则不管延迟时间长短都能正确找到有食物的杯子。符号化过程即将经验综合起来，并抽象为符号，对符号产生反应的过程，是高级的学习行为。例如让动物按照一定的次序移动三个编号的盘子，假如把次序确定为 1、2、3，按照正确的次序移动盘子，食物盒就会打开，动物便能取食。结果豚鼠经多次训练后能掌握少量几个移动盘子的次序，而猴子则能掌握多次移动盘子的次序。人类的语言文字是最发达的符号化过程，人类的推理能力是任何其它动物所不能比拟的。

【行为的遗传】每种动物的行为是相对稳定的，因为它们由遗传所决定。动物的形态结构和行为特征，都是由基因控制的。基因在染色体上，由 DNA 组成，为遗传的最小单位；它包含着制造各种蛋白质（主要是酶）和决定各种行为所需要的信息；而且决定动物行为的倾向，如动物的温顺、残暴、勇于求偶等与身体结构特征一样，是可遗传给后一代的。所有行为，甚至学习行为的能力，都是可遗传的。如用同一迷宫训练大鼠，选用走得快和走得慢的分别交配传种，到第七代时，快的后代更快，慢的后代更慢。这种学习行为，在遗传的过程中，得到强化。所以动物的行为，能够反映出它的遗传基础。现代以遗传学的方法来研究行为的学科领域是行为遗传学。它着重解释遗传与行为之间的本质关系。

【蜜蜂行为的遗传】蜜蜂中的两个品系，一个称卫生蜂，一个称不卫生蜂。前者能将孵化室打开，把死亡幼虫移走。后者缺乏这些行为。如果这两个品系进行杂交，结果子一代都是“不卫生”的。说明“不卫生”的行为型式是显性，“卫生”的行为型式是隐性。如果将“不卫生”的子一代杂种与“卫生”行为型式的亲本进行回交，产生四种不同行为型式。（1）能打开孵化室，并移走死虫；（2）不能打开孵化室，也不会移走死虫；（3）能打开孵化室，不会移走死虫；（4）不能打开孵化室，能移走死虫（人工打开孵化室）。前两者行为是亲本所有，后两者是新组合的行为型式，同时，这四种行为型式的比率为 1 : 1 : 1 : 1。这说明打开孵化室和移走死虫由两对分离的基因控制，是双基因杂种遗传，是符合孟德尔定律的。

生物的生殖 和胚胎发育

繁殖类型

【营养繁殖】植物以其营养体的一部分或产生特殊的繁殖体进行繁殖的方式。概括起来有下述 5 种类型：(1) 单细胞藻类或菌类以细胞直接分裂产生 2 个新个体。(2) 非丝状群体断裂成若干部分，每个部分（小群体）再发育成大群体。(3) 丝状体的藻类以各种方式断裂成藻丝小段，如颤藻由死细胞或隔离盘将藻丝分隔成 2 至多个小段；鱼腥藻和念珠藻由异形胞将藻丝分隔成若干个小段，每个藻丝小段为 1 个藻殖段，每个藻殖段极易从藻丝上脱离下来，而且都可以发育成 1 个新个体。还有些丝状体的绿藻等植物，由于受到机械损伤，断成若干个小段，每个小段也可发育成 1 个新个体。(4) 产生特殊的繁殖体，如轮藻可产生珠芽和淀粉星体；黑顶藻可产生二分叉、三分叉或楔形的繁殖小枝，它们从母体上脱离后，就可发育成新个体。在地钱的植物体上还有一种叫做胞芽杯的结构，其中可产生多个芽胞，每个芽胞脱落后，都可在适宜的条件下产生新个体。(5) 一些种子植物可用其块茎、匍匐茎、鳞茎等进行繁殖，也是一种营养繁殖。此外，种子植物常用其一段枝条进行扦插繁殖，还有的用埋条繁殖等，都属于营养繁殖。营

养繁殖也曾被归入无性生殖中,近代多将其从无性生殖中分出,单列为一个类型。营养繁殖尽管是一种较原始的繁殖方式,但它在植物的繁衍和生产实践上具有重要意义。

【裂殖】 营养繁殖的一种形式,即一个细胞直接分裂为两个细胞。细胞分裂时细胞中部向内凹入生出新的胞壁,开始时如环状,逐渐向中心加深,直至将原生质体分为两半,形成两个子细胞。行裂殖繁殖的生物主要是原核生物细菌和蓝藻。细菌也称裂殖菌,蓝藻又称裂殖藻,人们曾将细菌和蓝藻另成立一个裂殖植物门。

【芽殖】 即出芽生殖。营养繁殖的一种类型。常见于真菌中的一些种类。如酵母菌,细胞壁上可产生 1 至多个突起,并渐膨大,细胞中的细胞核也分裂为二,其中 1 个子核移入突起中,突起基部的胞壁逐渐紧缩,形成 1 个芽孢子。芽孢子从母细胞上脱落后,发育成 1 个新个体。同时,常可见在母细胞上产生的芽孢子尚未脱落时,芽孢子又开始芽殖,如此可连续进行,产生一串细胞。此外,真菌中还有些种类以芽殖方式产生分生孢子等。

【断殖】 即断裂繁殖。营养繁殖的一种方式。常见一些藻类植物中。如蓝藻门中的微囊藻,其群体可断裂成若干部分,每一部分均可发育成 1 个新群体;再如褐藻中也有些固着种类,可从藻体基部纵裂 2 至多个新个体,或从藻体上断离若干裂片,裂片离开母体后可形成新个体,如马尾藻属中的一些种类等。

【孢子生殖】 常指藻类、菌类、苔藓、蕨类等孢子植物产生各种类型的孢子进行繁殖的方式。

【孢子】常指孢子植物所产生的生殖细胞。它不需和其他细胞融合，即可萌发成新的植物体，所以孢子在实质上是无性生殖方式所产生的生殖细胞。其中有的孢子是在孢子囊中经过有丝分裂所产生的，如衣藻的游动孢子、根霉的孢囊孢子、小球藻的似亲孢子等；有的孢子是在孢子囊中经过减数分裂以后产生的，如石莼、海带、地钱、葫芦藓、蕨等。孢子的类型很多，如游动孢子、静孢子、分生孢子、单孢子、四分孢子、孢囊孢子等。不同的植物所产生的孢子类型也不同。从结构上看，大多数孢子为单细胞，但也有为几个细胞，如稻瘟病菌的分生孢子为 3 个细胞等。孢子大多为单倍体，但也有少数为二倍体，如褐藻中的水云等一些种类还在孢子体上经过有丝分裂产生二倍体的游动孢子，它直接萌发产生孢子体。在大多数的孢子植物中，所产生的孢子在形态大小上一样，称为同型孢子，但也有少部分种类产生两种大小、生理上不同的孢子，大的孢子称大孢子，以后萌发产生雌配子体，小的孢子称小孢子，以后将萌发产生雄配子体。这种孢子有大小之分的情况称为孢子异型，如卷柏属、满江红等。在真菌中有些也称做孢子的，实际上是有性过程所产生的有性孢子，如水霉菌的卵孢子 ($2N$)、根霉的接合孢子 ($2N$)、子囊菌的子囊孢子 (N)、担子菌的担孢子 (N) 等。在种子植物中也产生孢子，且均为孢子异型，在胚珠的珠心中的 1 个大孢子母细胞经减数分裂产生大孢子，在花药中的小孢子母细胞经减数分裂产生小孢子。

【孢子囊】植物产生孢子进行无性繁殖的器官或结构。由单细胞构成的孢子囊，称单室孢子囊，主要见于藻类、菌类等低等植物中；由多个细胞组成的孢子囊，称多室孢子囊，主要见于高等植物如

苔藓和蕨类植物等。虽在褐藻中有些种类也具多室孢子囊，但其外部无不育细胞组成的壁，因而有别于苔藓和蕨类；能产生游动孢子的孢子囊，称游动孢子囊，产生不动孢子的孢子囊称不动孢子囊；有些植物有大、小孢子囊之分，产生大孢子的称大孢子囊，产生小孢子的称小孢子囊。在种子植物中，花粉囊相当于小孢子囊，胚珠的珠心相当于大孢子囊。

【无性生殖】 广义为：一切不经过性细胞结合的繁殖方式，包括营养繁殖和由各种无性孢子直接产生新的植物体的繁殖方式。近代常将无性生殖定义为以各种类型的无性孢子，不经过性结合直接产生新植物体的繁殖方式。由此看出，该定义中不包括营养繁殖。不同的植物所产生的孢子类型是不一样的，最常见的无性孢子有：1. 具鞭毛能游动的游动孢子；2. 静孢子；3. 四分孢子；4. 厚壁孢子；5. 似亲孢子；6. 孢囊孢子；7. 分生孢子；8. 节孢子等。

【有性生殖】 通过两性细胞的融合产生后代进行繁殖的方式。由于其后代具有双亲的遗传特性，有更强的生活力和更大的变异性，是生物界中较普遍而且是比营养繁殖和无性生殖更为进化的一种生殖方式。有性生殖方式也有其发展进化的过程，在原始阶段还是配子融合，其中最原始的为同配生殖，以后进化为异配生殖，高级进化类型则为卵式生殖，即生殖细胞分化为精子和卵，所有的高等植物都是卵式生殖。在低等植物中也有一部分为卵式生殖。

【同配生殖】 由两个形态、大小相同的配子（即性细胞）融合而进行的一种有性生殖方式。这种有性生殖属低级类型。由于在外形上无法区分配子的性别，所以常用（+）配子（雄性）和（-）配

子（雌性）来表示。同配生殖主要存在于低等植物中，如衣藻，其有性生殖大多为同配生殖。

【异配生殖】由两个形态和大小不同的配子融合进行的有性生殖方式。其中 1 个大的配子为雌配子，1 个小的配子为雄配子。这种有性生殖比同配生殖的进化水平高，但仍然是较低级的类型。主要见于藻类等低等植物中。如绿藻门中的空球藻就是异配生殖的典型代表。它的雌配子直接由 1 个普通营养细胞形成，体积大，球形，具 2 条鞭毛，而雄配子是由营养细胞（或称雄配子囊）经过多次分裂产生的 64 个细长的具 2 条鞭毛的雄配子，在体积上比雌配子小许多倍。然后 1 个小的雄配子和 1 个大的雌配子融合形成合子。

【卵式生殖】又称卵配。精子与卵融合的有性生殖方式。为有性生殖方式中的高级类型。在一部分藻类植物和全部高等植物中为均卵式生殖。

【接合生殖】一种有性生殖方式。是由两个相亲和的细胞或藻丝细胞产生的不具鞭毛但可作变形运动的配子发生融合的方式。通常见于绿藻门中接合藻纲的种类。一些单细胞的种类在进行接合生殖时不产生接合管，两个相亲和的细胞靠近，其内的原生质体各形成 1 个配子，各从细胞壁中部的裂开处逸出，两个配子在细胞外面融合成合子，如新月藻、鼓藻等；一些丝状种类，大多产生接合管，两条相亲和的藻丝细胞中的原生质体形成可变形运动的配子，有些种类是 1 条藻丝细胞中的各个配子都以变形运动通过接合管流入到相对的 1 条藻丝的各细胞中去进行配子融合，如水

绵等；但也有的种类，两条亲和的藻丝细胞中的配子都以变形运动进入接合管，在接合管中进行融合，形成合子，如转板藻等。

【配子配合】两个相亲和的配子进行融合的一种有性生殖方式。其中又分为同配生殖和异配生殖两种类型。相融合的两个配子在形态大小上相同者为同配生殖，相融合的两个配子在形态大小上不同者为异配生殖，大配子为雌性配子，小配子为雄性配子。同配生殖原始，异配生殖较其进化。

【配偶囊配合】即配子囊交配或囊配。两个相接触的配子囊的全部内容物进行融合的一种有性生殖方式。这种融合是通过相接触的两个配子囊顶端壁的溶解而实现的。两个配偶囊融合后形成 1 个二倍体的接合孢子。常见于接合菌的种类，如毛霉、根霉等。

【体配】不形成生殖器官，两个相亲和的体细胞直接融合的有性生殖方式。常见于担子菌和部分子囊菌中。体配的具体形式有多种，如酵母菌的两个体细胞可直接融合；担子菌中两条初生菌丝体的细胞可直接融合；禾柄锈菌 1 个性孢子可与 1 条受精丝进行融合；1 个担孢子也可与 1 条初生菌丝体融合；黑粉菌中 2 个单核的孢子也可直接融合等。

【单性生殖】又称孤雌生殖。指某些植物（包括某些动物）所产生的卵不经与精子融合可以单独发育成后代的一种生殖方式。有些植物和动物常行单性生殖，称其为“天然单性生殖”，如蒲公英、早熟禾以及蜜蜂、水蚤、蚜虫等；也可用人工实验方法促使未受精的卵单独发育成新植物体，称为“人工单性生殖”，如番茄、海

胆、家蚕、鱼、蛙等植物和动物均已获成功。

【无融合生殖】植物的配子体不经过产生配子（或精子与卵）进行融合而产生孢子体的一种无性生殖方式。常见于某些蕨类植物。其孢子体是由配子体的单个营养细胞、或颈卵器附近的细胞、或颈卵器内的某些细胞所形成，染色体为单倍体。被子植物中的菊科、禾本科、百合科和蔷薇科等植物的某些属种也有无融合生殖现象，其胚囊（雌配子体）里的卵细胞不经受精直接发育成胚；或助细胞、反足细胞、珠心细胞、珠被细胞直接发育成胚。

被子植物的生殖 和胚胎发育

【心皮】构成雌蕊的单位。相当于带有胚珠的大孢子叶。被子植物的雌蕊可由一个或多个心皮构成；一朵花中的雌蕊，仅由一个心皮构成的称单雌蕊，如豆类等；由两个或两个以上心皮连合构成的称复雌蕊，又称合生心皮雌蕊，如百合等；一朵花中生有多数心皮但彼此分离，各自成为一个雌蕊的称离生心皮，如八角茴香等。在复雌蕊中具 2 心皮的如向日葵；具 3 心皮的如蓖麻；具 4 心皮的如卫矛；具 5 心皮的如苹果；具 10 心皮的如柑桔类。构成雌蕊的心皮数目可由花柱分裂数目、子房上主脉数目及子房室数等来判断。心皮边缘缝合线称腹缝线或内缝线；相对的部分称背缝线或外缝线。胚珠常着生于心皮中的腹缝线上。被子植物的胚珠包裹在心皮内，比裸子植物裸露的胚珠，在进化上更为高等。

【胚囊】被子植物的雌配子体。是一个囊状结构，在珠心内，包含卵细胞等结构。是由大孢子发育而来的。胚囊中有几个比较重要的细胞，即靠近珠孔有 3 个细胞，中间一个较大，称为卵细胞，两侧有 2 个较小的助细胞；与珠孔相反的一端，靠近合点的位置上，有 3 个反足细胞，胚囊中央有 2 个极核，融合而成原始胚乳细胞。受精后，受精卵发育成胚，原始胚乳细胞发育成胚乳。无论胚还是提供营养的胚乳，都是植物通过受精作用，进行了有性繁殖后产生的，使下一代具备了双亲的遗传性，从而提高了生活力和对其周围环境的适应性。

【花粉】指种子植物雄蕊花粉囊内产生的雄配子（小孢子），如单核花粉，也指萌发的小孢子，即含有几个细胞的雄配子体，这些粉状体统称为花粉。未成熟的花粉具有单核，又称小孢子，由花粉母细胞经减数分裂而来。成熟的花粉由 1 个营养细胞及 1 个生殖细胞或两个精子细胞组成，即雄配子体。一般被子植物多为单粒花粉；也有 2、4、8 粒的复合花粉，还有许多花粉粘在一起的，如萝藦科、部分兰科植物的花粉块。花粉的形态、大小、颜色、构造、外壁上的雕纹与萌发孔、沟槽的数目、形态特征，因种类不同而各异。在赤道面观，花粉轮廓可呈圆形、椭圆形、菱形、方形等。由于电子显微镜等先进技术的应用，更促进了孢粉学的发展，常用来鉴定古代植物化石与现存植物及其演化和地理分布。利用花粉还可勘察矿藏，并澄清植物分类学上的一些问题。花粉本身是蜂粮，又可为蜜（粉）源植物的调查、开发利用提供鉴定依据。花粉还作为营养补药、添加剂等。在花粉大量产生的季节，能引起人畜共患的枯草热症和花粉过敏症、中毒症等。近年发展起来的花粉培养，在植物激素的诱导下，能培育出单倍体植株，为

植物育种工作开辟了新的途径，意义深远。

【花粉管】花粉粒萌发后，花粉粒的内壁通过外壁上的萌发孔或沟，向外伸出的细长管状物。通常一个花粉粒萌发产生一个花粉管。具多萌发孔或沟的花粉粒，可同时产生数个花粉管，但最后只有一个花粉管能继续生长。花粉管是靠其末端的一个透明的半球形帽区生长的，帽区之后含有多种细胞器。花粉管长到一定的程度后，花粉粒的营养核和生殖核相继进入花粉管中，一般营养核在花粉管的前端，生殖核分裂为二个精子，随营养核之后进入花粉管。花粉管伸进柱头后，经花柱入子房，在胚囊中完成授精作用。花粉管是雄配子体的一部分，使种子植物不再依赖水的媒介，这是陆生植物生活的适应和进步。柱头对花粉粒具有选择性，既避免了自花受精，又保证了种的绵延。

【传粉】又称授粉。植物开花时，从雄花的花药中散出成熟的花粉，通过一定的传播媒介（如风、昆虫、鸟、兽、水、人和其他动物等）传送到同一朵花或另一朵（株）花的雌蕊柱头上的过程。传粉是有性生殖不可缺少的重要组成部分，植物通过传粉来完成其授精作用，使其授精卵能在植物胚囊中，进行正常的生长发育后，形成种子。传粉有自花传粉和异花传粉两种方式。

【自花传粉】雄蕊的成熟花粉粒，自动落到或被传送到同一朵花的雌蕊柱头上的传粉方式。在自然界中，自花传粉的植物只占少数，如小麦、大豆、棉、蕃茄等。自花传粉植物的花，必然是两性花，因为雄蕊群与雌蕊很近，花药又比柱头高，花粉容易落到柱头上，花粉和胚囊还必须同时成熟才行。但两性花植物不一定是自花

传粉。有些自花传粉的植物在开花前，已经完成传粉和受精作用，称为闭花传粉和闭花受精。闭花受精是典型的自花传粉。这类植物的花粉在花粉囊中萌发，花粉管穿过花粉囊壁伸向柱头，完成受精作用。植物如果长期自花传粉，将逐步退化，会失去栽培价值。自花传粉也有其有利的一面，即能保护花蕊免遭昆虫吞食或雨水冲淋的破坏。自花传粉被自然选择保留下来，是植物对缺乏异花条件时的一种适应。现代被应用于培育自交系和纯系，再用不同的自交系或纯系杂交，以获得新的杂交优势种。

【异花传粉】雄蕊的花粉粒成熟后，借风或昆虫、水等媒介送到另一朵花或另一株花的雌蕊柱头上的传粉方式。在自然界中异花传粉的植物占绝大多数，异花传粉有风媒花和虫媒花两大类。此外，还有少数依靠水为媒介进行异花传粉的水媒花，如金鱼藻属、苦草属等都是水媒植物，水媒植物的特点是：花粉粒不具外壁，多呈丝状体，这样便于与柱头接触。异花传粉比自花传粉进化，有的植物通过雌蕊先熟等方式来防止自花传粉，而有利于异花传粉。由于花粉和雌蕊来自不同的植物或不同的花，遗传性差异较大，受精后能使后代的生活力和适应性提高，在实践中异花传粉也是使栽培植物获得丰收的重要措施之一。如玉米的人工授粉、果树和林业生产中不同品种间的传粉等。

【单性花】在一朵花中，仅生有雄蕊或雌蕊的花。有时虽然雄蕊和雌蕊都同时存在于一朵花中，但是其中的一种（雄蕊或雌蕊）退化，仅存一种能够进行生殖的花。在一朵花中，具有雄蕊而缺少雌蕊或有退化雌蕊的花称雄花。在植物分类学文献上，应用的符号是“♂”；反之，具有雌蕊而缺少雄蕊或有退化雄蕊的花称雌花，

所用的符号是“♀”。这些单性的雄花或雌花，都属于不完全花。其中有的植物的雌花和雄花都生长在同一株植物体上称为雌雄同株，如黄瓜、玉米等。还有一部分植物雌、雄花分别生长在两株植物体上，称为雌雄异株，如柳属植物和大麻等。

【两性花】一朵花中，同时具有雄蕊和雌蕊的花。如桃花、苹果、桔梗、凤仙花等。在植物分类学参考文献中，通用的表示符号是“♂”“♀”，或“♂♀”。在植物的花程式中，常用“♂♀”符号来表示两性花。

【雌雄异株】具单性花植物的雌花和雄花，各自生长在两株植物体上的现象。仅生长雌花的植株，称为雌株，常用符号“♀”来表示；只长雄花的植株，被称为雄株，常用符号“♂”来表示。在植物分类学的参考文献中，通用表示雌雄异株符号是“♀/♂”。雌雄异株常见的有：裸子植物中的银杏，花着生在不同植株短枝的顶端，结“种子”的为雌株；被子植物中的杨和柳；还有先叶开花的榆树，其中结“榆钱”果的为雌株。此外，如果在同一种植物的某些植株上，生有两性花，而在另一些植株上，仅生有雌花的现象，称为雌花两性花异株，又称雌全异株，例如车前草属植物和某些石竹科植物。此外，如果一株植物体上，既有单性花又有两性花，称为杂性花。例如某些桑科和蓼科植物如木天蓼等，就属杂性（花）同株之列。

【雌雄同株】具单性花植物，在同一植株上既有雌花，又有雄花的现象。雌雄同株又有几种情况：雌花和雄花都生长于一株植物上，如南瓜和苧麻；雌花在植株上部，雄花在植株下部，如蓖麻；雄

花在植株上部，雌花在植株下部，如玉蜀黍。在植物分类学的参考文献中，通用的表示雌雄同株的符号是“♂♀”或“(♀♂)”。此外，如果一株植物体上，既有单性花又有两性花，称为杂性花；如果单性花和两性花同长在一株植物体上，称为杂性同株；如果单性花是雄花称雄花两性花现象，又称雄全同株。榆科朴属植物的花为杂性花，即单性花（雄花）和两性花同株，应属杂性（花）同株或雄全同株之列。

【雌雄异熟】在两性花中，雌蕊与雄蕊的成熟期不同、或早或晚的现象。某些两性花中，若雌蕊比雄蕊早成熟，称为雌蕊先熟，例如被子植物中的车前草和木兰等植物。两性花中，若雌蕊较雄蕊晚成熟则称为雄蕊先熟，如被子植物中的蜀葵、桔梗、向日葵、洋绣球、鼠尾草、常春藤等植物。这些植物多为虫媒花，雌蕊与雄蕊成熟期不同（或雌早雄晚或雄早雌晚）彼此错开，有利于防止自花传粉的发生。因为自花传粉是比较原始的传粉方式，如果植物长期进行自花传粉，在大多数的情况下，后代的生活力会逐渐衰退，甚至被大自然淘汰。雌雄异熟的现象，正是通过长期自然选择的一种适应，保证了虫媒花植物的异花传粉。

【风媒花】靠风为媒介来传送花粉的花。其特点是：花被很小或完全退化，不具艳丽的颜色，无蜜腺和香气，多密集成穗状花序或柔荑花序，产生大量的花粉，花粉粒很轻，常成粉末状，表面光滑、干燥或带气囊（如松的花粉）等附属物，适于随风飘扬，如杨、柳等。另外，雌蕊花柱较长，柱头特化成羽毛状，适于接受花粉。许多风媒花都是“先叶开花植物”，使大量花粉随风飘落，不致被枝叶阻挡而影响受粉。禾本科植物如小麦、水稻等具细长

而下垂的花丝，花丝受风力吹拂而振荡，易于散出大量干燥花粉。这些花的结构特点，都是对风媒传粉的适应。风媒植物约占有花植物的 $1/5$ 。与人类的关系密切，粮食谷物、经济林木、建筑木材、家具器具等都离不开这些植物资源。

【虫媒花】靠昆虫或其他小虫以及蜗牛、蜂鸟等为媒介进行异花传粉的花。其特点是：花大，花被发达，颜色鲜艳，有香气，具蜜腺，花粉粒较大，其表面具突起、粘质和各种雕纹与萌发孔、沟槽等，易粘附在昆虫体表；有的粘成花粉块，如萝藦科、部分兰科植物的花粉。花粉量较风媒花少。有的集成花序，如向日葵等。虫媒花的结构常与特定传粉昆虫有关，如玄参科金鱼草的花，花冠筒上下唇紧关闭合，其他昆虫无法进入；只有蜜蜂落到花冠筒下唇时，借助其体重，使上下唇张开。又如唇形科鼠尾草的花，蜜腺、花丝、花药联成一杠杆，当蜜蜂采集花蜜时，背上恰巧涂上花粉粒。虫媒植物占两性花植物的大多数。在有一定数量昆虫的条件下，两性花受精机会比单性花多一倍，故能获得增产。

【双受精】被子植物特有的一种受精现象。经过传粉后，花粉粒在雌蕊柱头上萌发长出花粉管，并沿花柱入子房。多数植物的花粉管通过珠孔进入胚囊；也有少数植物的花粉管，由顶端的壁（合点）破裂进入胚囊。花粉管进入胚囊后，一般是先端破裂，放出两个精子，其中的一个精子与卵结合，形成 $2n$ 的受精卵（将来形成种子的胚），精子与卵结合的过程即受精作用；另一个精子则和两个极核结合或与一个次生核结合，形成 $3n$ 的胚乳核（将来发育成种子的胚乳），这种双重受精的现象，最初是由俄国科学家纳瓦申在 1898 年发现的。由于胚的营养物质胚乳也具有父母本的遗传

性，而且双重遗传性的胚，在胚乳中孕育，所以被子植物的后代，具有更强的生活力与适应性。

【多胚现象】在形成一粒种子的初期发育过程，常具一个胚，但有的植物的种子在以上阶段中，具有两个以上的胚的现象。具有多胚现象的植物种子中，胚的来源有：胚囊中的助细胞或反足细胞形成的附加胚；原胚末端细胞分裂而形成的胚；胚囊中产生若干个卵细胞所形成的胚。此外还有由胚珠中产生一个以上的胚囊，由珠心或珠被细胞伸入胚囊中发育而成的多胚等。种子中虽然具有多数的胚，但在生长发育过程中，一般只有一个胚完全发育成熟，长成新的植物个体，其他多余的胚死亡或在实生苗时期死亡，并且首先是由无融合生殖所形成的苗死亡。具有多胚现象的植物有柑桔、紫玉簪、早熟禾等。

【生活史（植物）】植物由受精卵、孢子或其他初始结构，经过发育、繁殖，直到自然死亡的全过程。根据体细胞为单倍或二倍染色体，以及有无世代交替，植物的生活史可分为：（1）单体型生活史，生活史中只有一种类型的个体，没有世代交替现象。根据植物体细胞为单倍或二倍染色体，又可分为单体型单倍体生活史和单体型二倍体生活史，前者如衣藻、黑根霉，后者如墨角藻、马尾藻等。（2）双单体型生活史，生活史中有两种植物体，一为二倍体的孢子体，一为单倍体的配子体。有世代交替现象。这种类型生活史在植物界中最为普遍。根据两种个体的形态、显著性、大小、生活期长短以及能否独立，双、单体型生活史，又可分为等世代型和不等世代型。裸子植物和被子植物的生活史同属于双单体型生活史中的不等世代型。它们的孢子体世代在生活史中占绝

对优势，配子体世代时间很短。配子体结构简单，寄生在孢子体上。

【裸子植物生活史】即裸子植物的生活周期。为典型的异形世代交替。其主要特点是：孢子体很发达，为木本，无草本，独立生活；配子体较蕨类退化，雄配子体（即成熟花粉及其萌发后的花粉管阶段）仅由 3—4 个细胞组成，雌配子体一般由几千个细胞组成，二者都不能独立生活，寄生于孢子体上；由于雄配子体后期萌发产生花粉管，所以精子能由花粉管输送至雌配子体的颈卵器，与卵结合完成受精作用，从而摆脱了水的限制；由受精卵发育为胚的过程中，有简单多胚和裂生多胚现象发生，产生没有子房包被的裸露种子。裸子植物生活史的具体过程可以松柏纲中的松属植物为代表，加以说明：松树上雄球花的花粉囊中有许多小孢子母细胞，经过减数分裂产生单倍体的小孢子，由其分裂产生花粉粒，即雄配子体；雌球花的胚珠在其珠心组织中的 1 个大孢子母细胞，经过减数分裂产生 4 个大孢子，其中 3 个近珠孔端的大孢子不久消失，远珠孔端的 1 个大孢子，经过核分裂后的游离核阶段、胞壁阶段而形成雌配子体，并在靠近珠孔端产生 2—5 个颈卵器。花粉粒由风传播到雌球花并进入珠孔后，管细胞就萌发产生花粉管，生殖细胞也经过分裂产生两个精子，花粉管顶端伸到颈卵器处时即行破裂，1 个精子与卵融合形成受精卵。受精卵分裂形成胚。几个颈卵器中的卵都可受精，并形成胚，即简单多胚。每个受精卵经分裂又可产生 4 个胚，称裂生多胚，以后经过胚的选择，最后仅 1 个胚发育成熟。此时雌配子体的组织转化为胚乳，珠被形成种皮，新一代的种子即产生。其生活史即告完成。种子萌发后，长出幼苗，长大后，又可年年开花，开始新的生活周期。

【被子植物生活史】即被子植物的生活周期。为典型的异形世代交替。其主要特点是：孢子体高度发达，组织分化程度最高，或是木本，或是草本，独立生活；配子体更加退化，雄配子体仅由 2—3 个细胞组成（花粉粒），雌配子体通常由 7 个细胞 8 个核组成（即胚囊），二者均寄生于孢子体上；受精过程不仅摆脱了水的限制，而且出现了双受精过程；不仅产生种子，而且种子为子房包裹，形成果实。被子植物的生活史过程可简述如下：种子入土萌发，产生幼苗，成熟后开花，雄蕊的花药中有许多小孢子母细胞，经减数分裂产生单倍体的小孢子，并由其分裂产生花粉粒（即雄配子体）；雌蕊中的每个胚珠内有 1 个大孢子母细胞，经减数分裂产生 4 个大孢子，其中 3 个退化，仅 1 个发育成 7 个细胞 8 个核的雌配子体（即胚囊）；传粉后，1 个精子与卵结合形成受精卵，1 个精子与中央细胞的两个极核受精形成胚乳；由受精卵发展为胚，由珠被变为种皮，即形成种子；子房壁形成果实。这样，由种子开始，经过萌发、生长、发育、开花、传粉、受精，到新一代种子的形成，即为被子植物生活史的全过程。

高等动物的生殖 和胚胎发育

【精子发生】动物精子的发育和成熟的过程。哺乳动物精子发生过程可分为：（1）精原细胞的增殖更新。精原细胞经过重复多次的有丝分裂，部分细胞保留为生精干细胞，部分细胞增大体积发育为初级精母细胞。（2）精母细胞的成熟分裂。初级精母细胞合成

DNA、复制染色体，为成熟分裂作好准备。初级精母细胞经过第一次减数分裂，形成两个单倍体的次级精母细胞，其染色体数目比正常体细胞减少一半，其性染色体也不同，分别为 X 或 Y。次级精母细胞紧接着就进行第二次成熟分裂（普通有丝分裂方式），形成两个较小的精子细胞。（3）精子细胞变态为精子。圆形的精子细胞经过复杂、剧烈的形态变化，转变为具头、颈和尾部的细长形精子，且能游动。精子发生的整个过程是在睾丸曲精细管内进行的。人类从精原细胞到精子形成约需 70 天左右。变态完成的精子要在附睾中停留 12—21 天完成生理成熟，最后还需要接触女性生殖管道的液体，经获能后才具受精能力。

【精子】成熟的雄性生殖细胞。不同动物精子的形状、大小和内部结构均不一样。哺乳动物的精子一般由头部和尾部组成。头部为主体，主要由位于前端的顶体和后面的高度浓缩的细胞核组成，顶体在受精过程中极为重要（参见“顶体反应”）。不同动物的精子头部的形状各异。尾部由四段构成，即颈段、中段、主段和末段。尾部主要是“9+2”微管构成的轴丝。颈部很短，内含中心粒；中段的轴丝外有螺旋形的线粒体鞘包绕；主段是尾部最长的部分，由中央的轴丝和外面的致密纤维鞘构成；末端细而短，由轴丝和其外的质膜构成。精子尾部能左右摆动和向前游动。精子可分为：（1）有鞭毛精子，分布广泛；（2）无鞭毛精子，海洋和淡水无脊椎动物精子属此类型，顶体决定精子头部的形状，顶体的大小和形状有“种”的特征。

【卵子发生】动物卵子的发育和成熟过程。卵子发生是在卵巢内进行的，可分为：（1）增殖期。卵原细胞连续进行多次有丝分裂以

增加细胞数量，随后，卵原细胞开始生长形成初级卵母细胞。例如人胎儿五个月时，卵巢中含有 200 万卵原细胞和 500 万初级卵母细胞，此后，大多数细胞退化、死亡，到胎儿出生时卵巢中不含卵原细胞，含有初级卵母细胞约 100 万。鱼类和无脊椎动物每年都是季节性地从生殖腺生殖上皮形成卵原细胞，经多次分裂后开始生长。（2）生长期。初级卵母细胞进行生长发育、积累各种营养物质、进行卵质分化及结构建造。初级卵母细胞长期存在于出生后的卵巢中，其生长期缓慢，可持续数日至数月，有的可长达数十年，例如胎儿期及婴孩期存活的初级卵母细胞，青春期开始到绝经期，陆续完成，妇女一生中只排出数百个成熟卵细胞，大多数生长的初级卵母细胞尚未成熟就退化了。多黄卵中营养物质的积累可使细胞体积增加 200 倍，而哺乳动物的胎儿营养是由母体供应，不需贮备大量营养物质。（3）成熟期。完成生长的初级卵母细胞要进行两次成熟分裂。第一次成熟分裂为减数分裂，形成一个次级卵母细胞和一个体积很小的第一极体，第二次成熟分裂为普通有丝分裂，形成一个卵细胞和一个第二极体。人出生时卵巢中的初级卵母细胞是停于第一次成熟分裂前期双线期，青春期开始，在垂体促性腺激素的作用下开始发育，排卵前完成第一次成熟分裂，开始第二次成熟分裂，停于分裂中期，待受精后，才完成第二次成熟分裂。

【卵泡】卵巢皮质内由一个卵母细胞和其周围许多小型卵泡细胞所组成。卵泡发育过程可分为原始卵泡、生长卵泡和成熟卵泡三个阶段：（1）原始卵泡：体积小、数量多，是由一个大的初级卵母细胞和其周围的单层扁平的卵泡细胞组成。新生儿卵巢皮质中约有 100 万个原始卵泡，但大多数不能达到成熟阶段，它们相继萎

缩退化，形成闭锁卵泡。(2) 生长卵泡：初级卵母细胞增大，卵泡细胞变成立方或柱状后，迅速增殖多层。在卵母细胞与卵泡细胞间出现了透明带，为凝胶状糖蛋白复合体，卵母细胞表面的微绒毛和卵泡细胞的突起伸入透明带内，这有利于卵泡细胞将营养物质输送给卵母细胞。卵母细胞继续增殖，卵泡细胞间的小腔隙渐融合成一个较大的卵泡腔，腔内充满卵泡液，内含透明质酸、雌激素和营养物质。随卵泡液的不断增多和卵泡腔的继续扩大，卵母细胞及其周围的一些卵泡细胞被压挤到卵泡的一侧，并突向卵泡腔，称卵丘。其余构成卵泡壁的卵泡细胞密集排列成数层，称粒层。卵泡周围的结缔组织形成两层卵泡膜，内层细胞与卵泡细胞共同完成分泌雌激素的作用。从青春期开始，每个周期有数个至 10 几个卵泡生长、发育，但只有 1 个卵泡发育成熟，偶有两个，其余卵泡均闭锁。(3) 成熟卵泡：初级卵母细胞完成第一次成熟分裂，形成一个次级卵母细胞和第一极体。次级卵母细胞迅即开始第二次成熟分裂，停止于分裂中期，待卵排出及受精后才能完成。卵泡液增多，致使卵泡体积剧增，卵泡移向并突出卵巢表面，形成成熟卵泡。由原始卵泡发育至成熟卵泡需 12—14 天。卵泡的生长发育与闭锁、优势卵泡的选择是受垂体促性腺激素的调节与卵巢内各种因素所控制。

【卵子】成熟的雌性生殖细胞。多数呈球形或卵圆形。卵质膜下皮层区内含有皮质颗粒（参见“皮质反应”），在受精时起重要作用。细胞核大，位于近动物极处，称生发泡，绝大多数动物卵母细胞核中含有特殊巨大的灯刷染色体。卵内各种物质成分排列不均匀，产生了极性，卵黄较多的一极称植物极，卵黄较少的一极称动物极。根据卵内卵黄含量的多少和分布，卵可分为：(1) 少黄卵或

均黄卵，卵黄含量较少，分布较均匀，如海绵动物、腔肠动物、棘皮动物和高等哺乳动物的卵。(2) 多黄卵，卵黄含量多，超过细胞质含量，根据卵黄的分布又可分为端黄卵（鱼类、某些两栖类、爬行类及鸟类等）、中量黄卵（环节动物、某些软体动物、肺鱼、鲟和多数两栖类等）和中央黄卵（大多数节肢动物）。

【顶体反应】精子在获能后与卵膜或卵表面相接触后顶体开始产生的一系列改变。顶体是盖于精子头部细胞核前方、介于核与质膜间的囊状细胞器。顶体反应包括顶体外膜与精子质膜在许多位点的融合，并形成许多小囊泡状结构，最后顶体外膜破裂，顶体内各种酶的释放和顶体内膜的暴露。由于顶体内各种酶的释放和顶体内膜的暴露以及精子本身的运动，精子才得以穿过卵外的卵膜而与卵结合。顶体反应是受精的先决条件，只有发生过顶体反应的精子才能与卵子发生质膜融合。

【皮质（层）反应】在受精过程中，精子接触卵表面以及穿入卵时，卵细胞质表层所发生的一系列变化过程。受精前动物卵母细胞膜的皮质层中的皮质颗粒是具膜的圆形、椭圆形小体，内含蛋白水解酶、结构蛋白和粘多糖等。精、卵融合激活了卵子，首先诱导了皮质反应：包括皮质颗粒膜与卵质膜在精子与卵相接触的位点发生融合，随后波及整个卵表面；皮质颗粒破裂并释放内容物到卵周围的间隙中。皮质颗粒成分使卵黄膜转化为硬化的受精膜，这种硬化是通过皮质颗粒过氧化物酶所催化的蛋白质交联作用，将卵黄膜和皮质颗粒蛋白转变成极不易溶解的共价连接的蛋白网络；进入透明带的皮质颗粒成分也诱发了透明带反应（透明带硬化及精子受体失活）。这些改变均可阻止多余精子的再结合和穿

过。

【卵裂】受精卵经过多次连续迅速的细胞分裂，形成许多小细胞的发育过程。每次卵裂产生的子细胞称卵裂球。卵裂球几乎不生长即迅速地进行下次分裂，卵裂球体积越来越小，一旦核质比例达到平衡，细胞分裂速度开始减慢。卵裂后形成的大量小细胞，有利于以后形态发生中，细胞的重排、胚层和器官原基的形成和胚体体形的塑造。各种动物卵裂速度相差很大，海胆卵受精后数小时即形成数千个细胞，蛙 1 天内形成数千个细胞，而哺乳类 1 天时尚未完成第 1 次卵裂，是脊椎动物中最慢的。动物卵裂模式的不同是和卵内所含卵黄的数量和分布有密切关系，卵裂可分为：(1) 完全卵裂，卵裂面将卵细胞完全分开，卵裂球大小相差不多，一般少黄卵（均黄卵）都为全裂。中量端黄卵也进行全裂，但动植物极卵裂球大小相差较多，如多数两栖类、肺鱼。全裂类型较多，主要有辐射型卵裂、螺旋卵裂、两侧对称型卵裂、不规则型卵裂。(2) 不完全卵裂，多黄卵进行这种卵裂，由于卵含大量卵黄，卵裂面不能通过整个卵，卵裂仅在卵的细胞质部分进行。有盘状卵裂，卵裂发生在动物极胚盘上，胚盘下的卵黄不分裂，如硬骨鱼、爬行类和鸟类；表面卵裂，昆虫卵的大量卵黄集中于卵的中央，细胞核和少量细胞质位于中央，大部分细胞质分布在卵周，多次分裂后，卵裂球最终均位于卵的表面。

【桑椹胚】受精卵经卵裂形成的卵裂球实体，没有囊胚腔，其外观似桑椹果因而得名。两栖类的桑椹胚通常指 16—64 细胞期，此时胚胎没有明显的囊胚腔。哺乳动物具有明显、典型的桑椹胚期，此期胚胎外面仍有透明带包围，随细胞数量的增多渐渐形成了中央

的囊胚腔及胚泡特有的形态，即为哺乳动物的囊胚。

【囊胚】动物胚胎卵裂期后的发育阶段。囊胚期的细胞继续分裂，至核质比例恢复到正常，细胞分裂速度减慢。囊胚细胞形态分化不明显，但晚期囊胚的不同细胞区开始有不同的发育信息，一些细胞开始特化。囊胚的形式和卵子类型及卵裂类型有密切关系。

(1) 腔囊胚：囊胚呈球形，中间有明显的囊胚腔。进行完全均等卵裂的动物，如海胆与文昌鱼具有典型腔囊胚。进行完全不均等卵裂的两栖类囊胚，其植物极细胞较大，囊胚腔偏于动物极，囊胚壁细胞层数多。哺乳动物的囊胚属腔囊胚，又称胚泡，但其发育较特殊，围于外面的扁平细胞层称滋养层，将形成绒毛膜及胎盘的一部分，内面的腔称囊胚腔或胚泡腔，附在滋养层内层一侧的细胞团称内细胞团，将形成胚体和一部分胎膜。(2) 盘状囊胚：盘状卵裂后形成盖于卵黄上的盘状囊胚。胚盘数层细胞以分层或陷入方式形成上胚层和单层下胚层，二者之间的扁腔即称为囊胚腔，如硬骨鱼、鸟类。(3) 表面囊胚：表面卵裂形成的囊胚，为一层完整细胞层包围在实体卵黄的外面，没有囊胚腔，如昆虫。

【原肠胚】动物早期胚胎发育的一个重要阶段。囊胚细胞通过非常有序而复杂的细胞迁移与重排，形成具有 2—3 个胚层及原肠的原肠胚。细胞迁移过程称原肠形成或原肠作用。采用活体染色、炭粒标记及同位素标记等方法，均可将晚期囊胚或早期原肠胚分区标记，追踪被标记的细胞在形成原肠胚时，细胞迁移的方式及去向，从而明确晚期囊胚或早期原肠胚的一定区域的细胞，将形成某个胚层或某个器官原基，在囊胚上制定出分区图，称原基分布图。细胞迁移形式有内陷、内卷、移入、分层、外包和集中。各

种细胞运动不是独立进行的，往往是几种方式互相配合、先后或同时进行的连续迁移，同时伴有细胞分裂。不同的动物采用的方式亦有所不同。原肠形成过程中，合成新的特异性蛋白质，初步分化成形态和功能不同的细胞，随后进行不同器官原基的形成。

【神经胚】脊索动物早期胚胎发育中，继原肠胚后的重要发育阶段。首先，脊索上方的背部外胚层细胞伸长加厚，形成前宽后窄的神经板，神经板边缘加厚起褶形成神经褶、神经板中央下凹形成神经沟，随后，神经褶向背中中线移动，最后合拢形成神经管。神经管是脑和脊髓的原基。脊索和神经管构成了胚体的中轴，此时头和尾部、背面和腹面以及左右两侧相应定位，胚胎体形基本形成。在神经胚期，中胚层分为上、中、下三段，分别称副轴中胚层、侧板中胚层及间介中胚层。侧板中胚层分裂为二层，二层间的腔为体腔。

【胚层】动物原肠胚的细胞层。由囊胚发育、分化为具有内、外二胚层（低等动物）或三胚层（高等动物）的原肠胚，即在内、外胚层之间形成中胚层。三个胚层分化形成各器官原基，最终形成各种组织、器官系统。各个器官又是由不同胚层分化的不同组织所构成。外胚层形成神经系统、皮肤的表皮及毛、羽、鳞、甲和皮脂腺等皮肤的衍生物、角膜、视网膜、牙釉质、口鼻腔和肛门的上皮等。中胚层形成结缔组织、软骨、硬骨、肌肉、皮肤真皮、循环系统、泄殖系统及体腔膜等。内胚层形成消化道和呼吸道的上皮、消化腺（肝、胰）、内分泌腺（甲状腺、甲状旁腺及胸腺）以及尿道和膀胱的上皮等。

【着床】又称植入。胚泡与子宫内膜相互作用并进一步侵入、包埋于子宫内膜中的过程。人卵受精后 4—5 日，胚泡到达子宫腔；6—7 日，胚泡外透明带消失，开始植入。首先是胚泡靠近并粘附于子宫内膜表面，子宫内膜发生一系列变化，转变为蜕膜，为胚泡的植入和进一步的发育提供了条件。胚泡滋养层细胞分泌蛋白溶解酶，使接触部位内膜上皮溶解和破坏，胚泡侵入内膜基质后，继续侵蚀、消化内膜基质，胚泡植入后，缺口渐由新生长的子宫内膜上皮细胞覆盖，至 11—12 日左右植入完成。植入是在孕激素和雌激素的精确配合调节下进行的。胚泡的发育和到达子宫的时间必须与子宫内膜的生理变化精确同步，以保证植入的顺利完成。胚泡、子宫内膜与卵巢的黄体三者中任一方遭到干扰与破坏，皆可使着床失败或达到抗着床目的。通常人胚泡植入部位是在子宫体后壁的中部，但有时会植入子宫以外的部位，称宫外孕。宫外孕常导致胚胎死亡或引起母体严重出血。如植入宫颈内口附近，就会形成前置胎盘，分娩时可发生难产或大出血。有些哺乳动物的胚泡仅和子宫内膜表面相接触或相嵌，但并未植入子宫内膜。

【羊膜动物】又称羊膜类。胚胎发育过程中，胚胎外包有羊膜囊的陆生脊椎动物的统称，包括爬行类、鸟类及哺乳类。羊膜腔内充满羊水，胚胎悬浮在液体环境中，可防止体内水份蒸发以适应陆地干燥环境。羊膜动物在胚胎发育期形成羊膜、浆膜（绒毛膜）、尿囊及卵黄囊四种胎膜，使得登陆动物的陆地繁殖成为可能。这些胎膜在结构和功能上随动物进化程度而有变化，以适应各类动物胚胎的不同发育环境。

【羊膜】包在胚胎外面薄而坚韧的半透明膜囊。膜上没有血管。由

羊膜所包围的腔称羊膜腔。在胚胎发育过程中，羊膜腔不断地扩大，腔内充满羊水，胚胎悬浮其中，这不仅能保护胚胎免受损伤和震荡，而且可提供胚胎所需要的湿润环境，这是动物个体发育重演系统发育的现象之一。

【胎膜】又称胚外膜。羊膜动物在胚胎发育过程中所形成的胚体以外的临时性辅助器官。包括羊膜、浆膜（绒毛膜）、尿囊和卵黄囊等。胎膜在胚胎发育期中起保护、呼吸、吸收养料和排泄废物等作用。这些胎膜虽由受精卵发育而成，并与胚体相连，但不参与胚体本身的构成。在胚胎发育完成时，绝大部分均在孵出或产出时与胚体分离而被遗弃，仅有极小部分胎膜被胚体吸收入胚内。

【卵黄囊】爬行类和鸟类胚体腹方包围卵黄的具有丰富血管的膜囊。卵黄囊由卵黄囊柄与胚体中肠相通，有贮存、分解、吸收和输送营养物质（卵黄）的功能。卵黄囊随胚体的增长及卵黄的消耗而渐萎缩，最终被吸收到体内成为小肠的一部分。低等哺乳动物（卵生）的卵也富含卵黄，其卵黄囊也相当发达；胎生哺乳动物的卵为少黄卵或无卵黄，卵黄囊小，人胚卵黄囊更为退化，卵黄囊上的血管也不发达，卵黄囊的发生是生物进化的重演性结构。卵黄囊是胚胎最早形成血管和血细胞的部位，是早期胚胎的造血场所；同时也是原始生殖细胞的最初发源地。卵黄囊也可出现于其他脊椎动物以及软体动物的头足类。

【尿囊】胚体后肠腹壁外突所形成的盲囊。由尿囊柄和胚体的后肠相连。爬行类与鸟类的尿囊发达，是胚胎期代谢废物的受纳场所。囊壁上有丰富的血管网，主要是尿囊动脉和静脉。尿囊广泛地填

满了羊膜与浆膜间的胚外体腔，其外壁和浆膜紧贴位于多孔的卵壳和壳膜内，进行气体交换，因此尿囊是胚胎的呼吸和排泄器官。此外尿囊还能帮助吸收大部分蛋白质以及从卵壳吸收并运送钙至胚体参与骨的形成。一些哺乳动物如猪、狗等的尿囊相当发达并构成胎盘的一部分。人胚尿囊不发达，仅为遗迹性的囊管，但尿囊上的血管却高度发达，发育为脐动脉和脐静脉，为胎儿与母体进行物质交换的通路。

【浆膜（绒毛膜）】包被在胚胎和其他胎膜外面的最外层膜囊。爬行类与鸟类的浆膜紧贴于卵壳内，便于卵和外环境进行气体交换。大多数哺乳类为胎生，浆膜特化为绒毛膜，主要是胚泡内的胚外中胚层和滋养层细胞组成的膜囊向外增生，形成许多指状突起，称绒毛。绒毛的中轴含有丰富的毛细血管。哺乳动物由于绒毛膜上绒毛分布的不同和母体子宫内膜共同组成不同类型的胎盘。绒毛膜是胚胎与母体进行物质交换的唯一场所，因此，绒毛膜是具多功能的胎膜，除可进行气体交换外，还有营养、排泄、分泌多种激素等作用。

【蜕膜】胚泡（囊胚）植入后发生一系列变化的子宫内膜。首先是基质细胞增大、增多，胞质中富含糖原和类脂质，并转变为蜕膜细胞，可为早期胚胎提供营养；腺体增多且分泌旺盛；血管增生、血液供应丰富，血管通透性增高，内膜组织液富含粘多糖，间质呈水肿状态；整个子宫内膜增厚，转变为蜕膜，为胚泡的植入和进一步发育提供了条件，蜕膜的形成是直接受卵巢激素的调控。根据蜕膜与胚泡植入部位的关系，可将蜕膜分为包蜕膜、底（基）蜕膜和壁蜕膜三部分。

【胎盘】哺乳动物真兽类的胎儿与母体组织共同组成的进行物质交换的一个特殊器官。胎盘具有成体多种器官的综合功能。各类哺乳动物的胎盘外形及结构均有不同。根据绒毛膜上绒毛的分布、母体血与胎儿血间胎盘膜的层次及分娩时子宫内壁脱落与否可分为两大类：(1) 非蜕膜胎盘，胚胎绒毛膜与母体子宫内壁相互嵌合，接触不紧密，胎儿分娩时，绒毛膜从子宫内壁中脱去而不伤及子宫内壁。(2) 蜕膜胎盘，绒毛膜与子宫内壁结合紧密，分娩时，部分子宫内壁表层脱落并伴有程度不等的出血。人胎盘是由胎儿丛密绒毛膜及母体子宫基蜕膜共同组成的扁盘状胎盘，属蜕膜胎盘。胎盘的胎儿面光滑，中央附有脐带和胎儿相连，可见大量放射状走向的血管，为脐动脉和脐静脉的分支。胎盘的母体面粗糙，由纵横交错的沟将表面分为 15—30 个不规则小区，称胎盘小叶。胎盘小叶是由粗大的绒毛干再分出许多游离的小绒毛所组成，游离绒毛浸于缓慢流动的母血中，在此进行物质交换，供胎儿发育生长所需的营养、维持呼吸和排泄的正常进行。胎盘还分泌多种激素以保证妊娠得以正常维持、防止流产。此外，还可阻止母血中某些有害因子如细菌等进入胎儿体内，但不能阻止病毒等微小颗粒的通过。分娩时，包于胚体外的羊膜、绒毛膜及子宫内壁（基蜕膜）随胎儿一同产出，称胞衣。

【羊水】羊膜腔中的液体。羊水的作用是保护胎儿免受外来的直接伤害；防止羊膜和胚体的粘连；提供胚胎自由生长活动的条件；维持胚胎发育所需的液态环境。分娩时，羊水有助于扩张宫颈、清洗及润滑产道，便于胎儿产出。羊水的来源、组成及其容量随人妊娠期的不同而有变化。羊水主要是由羊膜细胞所分泌，妊娠后

期还含有胎儿的排泄物、分泌物及脱落的上皮细胞。羊水检查是诊断产科疾病的重要方法之一。对羊水上清液的生物化学测定可监测胎儿成熟度或发现某些先天性畸形,如无脑儿、脑积水等。对羊水中细胞部分进行性染色质检查、染色体分析以及酶的生物化学测定,以预测或确定胎儿的性别、有助于诊断染色体异常的遗传性疾病及先天性代谢缺陷病。正常妊娠足月时,羊水约为1000—1500ml。超过2000ml者为羊水过多,少于300ml者为羊水过少。羊水过多或过少常伴有某些疾病的出现,会不同程度地影响胎儿的正常发育及产出。

【脐带】连接胎儿与胎盘之间的一条细长带状结构。脐带一端连于胎儿的肚脐,另一端连于胎盘,足月胎儿的脐带长约50cm,有利于胚体在羊膜腔中自由活动。脐带表面包有一层光滑的羊膜,内含胶样结缔组织、一条脐静脉和两条脐动脉,在近肚脐的脐带内,有时可看到尿囊残迹。脐动脉将胎儿体内含代谢废物的血液输送到胎盘进行物质交换,脐静脉则将胎盘的新鲜血液送至胎儿体内,供胚胎生长发育所需。因此,脐带是胎儿与母体进行营养和代谢物质交换的唯一通道。分娩时要将胎儿的脐带从基部剪断,经消毒处理之后妥善包扎,以防感染和出血。

【胚胎诱导】在动物胚胎发育过程中,一部分细胞对其邻近细胞形态发生产生影响,从而决定其分化方向的现象。产生影响的细胞称诱导者或组织者,被影响的细胞叫反应细胞。反应细胞只是在一定时间内对诱导者发生反应,一旦超出临界时间,反应能力会逐渐减退以至完全消失。在胚胎发育过程中,诱导是逐级依次进行的,一种结构被诱导出来以后,它又可作为次级诱导者诱导邻

近其他结构的产生。从胚胎诱导的层次顺序上可分为：(1) 原肠胚的脊索中胚层诱导其上方的外胚层形成神经板，神经板形成神经管，称初级诱导。(2) 前脑两侧外突的视囊，诱导其外方的外胚层形成晶状体，称为次级诱导。(3) 晶状体又诱导其外表的外胚层形成角膜，称为三级诱导。已证明诱导物质是蛋白质及核酸。目前关于诱导物质的化学本质和作用机理尚不很清楚，但诱导物必须激活反应细胞内有关基因，基因活动的产物又激活其他有关基因。一组基因被激活，产生一组特异性蛋白，从而导致细胞分化。

【孪生】又称双胞胎。妇女一次妊娠娩出两个新生儿。孪生可分单卵（同卵）和双卵（异卵）。单卵孪生是在早期发育期胚胎分离，继而分别发育形成两个胎儿。两个胎儿细胞内所含的先天遗传物质完全一样，具有相同的染色体和基因。性别相同，血型、面貌、发色及指纹等也极为相似，在同一环境中其体质、身心表现等往往很相像。卵裂早期的两个胚胎各有自己的胎膜和胎盘。发生在胚泡早期的同一胚泡腔中的细胞团分离成两个细胞群，他们各自形成自己的羊膜，有共同的绒毛膜和胎盘。极少数发生在羊膜腔形成之后，在一个胚盘上形成两个发育中心，在一个羊膜腔内分别发育成两个胎儿，共有羊膜、绒毛膜及胎盘。这种双胞胎如果分离不完全，两个胎儿可有不同程度的连合，最终导致形成不同形式的互联孪生或联体双胞胎，有的可进行手术分离。双卵孪生是由于同时排出的两个卵子同时分别受精后发育形成的胎儿。其性别可能相同也可能不同，遗传性状和一般的兄弟姐妹相同，又称假孪生。

【双胞胎】 见“孪生”。

【试管家畜】 将体外受精技术得到的早期胚胎移植到同种母畜体内，继续生长发育直到分娩产生的家畜。又称体外受精家畜。它和普通家畜的区别主要是受精环境的不同，即把经过予处理的精子和卵子在体外培养液中进行受精，将受精卵移入发育用培养液内继续培养 48 小时，可发育到 4—8 细胞期或到第 7—8 天，发育到桑椹胚或囊胚，再移植入母畜子宫内继续发育。有的是将受精卵或培养到早期卵裂期，移至中间受体（绵羊或兔）的输卵管中，经过几天短期培养，发育为桑椹胚或囊胚时，再移入母畜子宫内，后者操作步骤繁多且成本高。受体母畜必须是在卵子受精的当天发情的，受精卵发育与受体母畜发情的同步对胚胎移植极为重要。世界上第一胎试管牛是在 1982 年出生的、第一胎试管山羊是在 1984 年出生的。国内研究起步较晚，但已在 1989 年首次培育出试管牛和试管绵羊。目前国际上已从“试管家畜”的人工生产向工厂化和商品化发展。家畜体外受精、胚胎移植将大大提高良种母畜的繁殖效率，促进畜牧业的发展。

【胚胎移植】 从供体体内的生殖道中取出受精卵或早期胚胎（卵裂至囊胚）移植到同期发情但未经配种的雌体子宫内继续发育，或从供体体内取出成熟卵子，或从屠宰母畜卵巢中采集未成熟卵子经体外培养达到成熟后，与经过体外获能处理的精子进行体外受精，待受精卵发育到卵裂——囊胚期，再植入宿主体内子宫中继续发育。胚胎移植技术挖掘和利用了优秀母畜的遗传潜力，将会创造更多的优良品种及提高良种家畜的繁殖率，对治疗人类不孕症也是一项可行的技术措施。胚胎移植对哺乳发育生物学的基础

理论研究提供了大量有价值的资料，而且也推动了生殖生物学和生殖医学的发展。

【变态】某些动物胚后发育过程中，其外部形态、内部结构所发生的一系列明显改变。它们的幼体和成体之间，无论在形态结构方面，或是在生理机能和生活习性方面都有很大差别。在转变为成体的过程中，需要进行器官的改造，包括器官结构的坏死和吸收，以及新的组织和器官的形成。昆虫和两栖类的变态具有典型性和代表性。不少昆虫的变态期占其生活周期的绝大部分时间，简单变态为不经蛹期的变态，从卵孵化后，幼虫或若虫经蜕皮后而发生形态变化，即为成虫。许多高等昆虫（蛾、蝶、蚊、蝇）的幼虫还需经过蛹期方能变为成虫。蛙类从卵孵化后，先形成鱼类体态的蝌蚪幼体，依次变为有四肢生出、后尾退化、呼吸器的改换、消化管变短等，以适应食肉动物的陆生生活。在海产脊椎动物中，绝大多数种类都有变态期。各类动物的变态都受有关激素的诱发与控制，例如蝌蚪变态是甲状腺素和催乳激素协同作用的结果；昆虫变态则受蜕皮激素和保幼激素的诱发与抑制。

【衰老】生物体在成熟期以后，随年龄增长而出现的组织改变、器官衰老及其功能、适应性和抵抗力的衰退。人体衰老是多种因素相互作用的综合结果，可分为生理性衰老和病理性衰老。如属生理性衰老，则可达到最高寿限，但单纯的生理性衰老较少见，人类绝大多数都不能达到自然寿命的最高寿限。病理性衰老指因患有某种疾病或受其他外来因素影响所致的老年期变化。个体从受精卵到自然死亡是进行性的、复杂的生物学连续过程，又由于人种、地区环境及营养条件等因素的不同而有差异，因而很难做截

然的阶段划分，通常把 40—65 岁称衰老前期，器官系统功能开始逐渐出现退行性变化；65 岁以后为衰老期，衰老变化更为明显。目前对于衰老的机理了解不多，虽提出了许多学说，但不能用某一学说全面地解释衰老现象，其中遗传因素是公认起主导作用的因素。衰老是生物的客观发展规律，是不可逆转的，但可以采取各种抗衰老的措施和方法，延缓衰老的进展速度，防止早衰，延长寿命。

【死亡】机体生命活动完全、永久性终止。重要生命器官（心、脑、肝、肺、肾等）发生不可逆的严重损伤、慢性消耗性疾病引起的全身衰竭等均可导致死亡。人的死亡是一个渐进过程，一般可分为三个阶段：（1）临死期，各系统机能急剧降低、意识模糊或消失、各种反射迟钝、大小便失禁、心跳微弱、血压下降、呼吸浅且慢。急死病人可以没有此期。（2）临床死亡期，心跳和呼吸完全停止、反射消失，但各种组织细胞的微弱代谢仍在进行，如能恢复心跳和呼吸功能，细胞、组织可得到氧和营养的供应，各器官的机能有可能恢复。（3）生物学死亡，全脑的功能及各器官、系统先后发生不可恢复的变化，生命不能复苏，躯体变冷、僵化。如果由于窒息、电击损伤、催眠药、麻醉药及其他毒物的中毒等，导致生命功能处于极度微弱状态，心跳和呼吸也极度微弱，外表和死人一样，称假死。如能及时、恰当地进行抢救，对处于死亡线上的病人仍能起“死”回生。

【先成论】又称预成论。17—18 世纪盛行的一种发育观。认为动物的成体雏形预先存在于卵子或精子内，而发育只是这种成体雏形的不断扩大。与渐成论的观点相对立。动、植物解剖学家马尔皮

基是第一个坚决支持先成论的人。先成论又分为卵源论及精源论。卵源论者认为微小的胚胎存在于卵子中，精液只是刺激胚胎发育的外物。到 18 世纪邦内特又发展形成套装理论，他认为动物卵里包含着将由它生出的所有后代的胚芽，一个世代包含着下一个世代，由大到小地套在一起，生殖只不过是成套的胚胎中脱出一个而成。第一个被创造出来的妇女——夏娃——含有以后一切世代的胚芽，推算应含有 20 亿胚芽，使先成论思想发展到了极端。由于蚜虫的孤雌生殖现象的发现，卵源论在 18 世纪处于优势。精源论者则认为，胚胎存在于精子中，并绘出精子和其中的微型人的图，卵只是供给胚胎发育的营养物质。

【渐成论】又称后成论。18 世纪德国的沃尔夫提出的与先成论相对立的一种发育观。他通过大量实验观察，认为有机体各部分是在个体发生过程中通过新生和演变产生出来的。主张胚胎是由简单到复杂逐渐发育演变而形成的。当时由于渐成论的见解和宗教的创世史不相容，而且渐成论又具有生机论色彩，即胚胎发育的真正机制是在“内在力量”或“要素力”的支配下进行的，因而未占优势。18 世纪末 19 世纪初，渐成论获得一定程度的发展。

生物的遗传与变异

孟德尔定律

【孟德尔定律】奥地利科学家孟德尔根据 8 年的豌豆杂交试验，总结归纳出来的两条遗传学基本定律——分离定律及自由组合定律。定律发现于 1865 年，但埋没了 35 年，直 1900 年被 3 位科学家重新发现后方引起普遍重视。孟德尔定律的发现标志着经典遗传学的建立，为 20 世纪遗传学的迅速发展奠定了基础。参见“分离定律”、“自由组合定律”。

【分离定律】孟德尔通过豌豆试验提出的第一个遗传规律。杂种的成对因子（等位基因）在形成配子时必然分离。具有一对相对性状〔如豌豆的开红花（由因子 CC 决定）和开白花（由因子 cc 决定）〕的亲本杂交，杂种子一代（Cc）只表现显性开红花的性状，子一代自交，形成配子时，成对因子 C 和 c 彼此分离，形成性质不同、数目相等的两种配子，受精时不同的雌、雄配子随机结合，子二代出现开红花和开白花的两种植株，它们的比例约为 3 : 1。即由子一代成对因子的分离导致了子二代性状的分离。孟德尔共进行了七对相对性状的研究，所有杂交试验结果一致。分离现象

普遍存在于生物界。由于显性的相对性和生物类型的不同，分离比例表现了多样性（3 : 1、1 : 2 : 1 和 1 : 1）。通过测交等方法可验证分离规律的正确性。分离规律的细胞学基础是减数分裂后期 I 的同源染色体分向两极。利用分离规律可以指导育种工作，并可对遗传性疾病作出预测和诊断。

【自由组合定律】又称独立分配规律。孟德尔通过豌豆试验提出的第二个遗传规律。杂种中两对或两对以上的因子（基因）在形成配子时，成对因子（等位基因）分离；不同对的因子（非等位基因）自由组合。利用具有两对或两对以上相对性状的亲本杂交，如豌豆的圆、黄（RRYY）和皱、绿（rryy）杂交，子一代表现为双显性圆、黄（RrYy），子一代自交形成配子时，在成对因子彼此分离的基础上，不同对的因子自由组合进入配子，形成四种性质不同、数目相等的配子，受精时，不同类型的雌、雄配子随机结合，子二代出现两对性状的自由组合。它们的比例约为 9 : 3 : 3 : 1。分离规律涉及的是一对等位基因在遗传中的行为，自由组合规律涉及的是两对或多对等位基因之间的关系，两个定律在遗传中同时发生作用。孟德尔用测交方法验证了自由组合规律的正确性。自由组合规律的细胞学基础是减数分裂后期 I 非同源染色体分向细胞两极时的自由组合。自由组合规律支配下的基因重组，是生物多样性的原因之一。它也是指导动、植物育种工作的理论根据。

【遗传】生物亲子代间形态结构、生理机能等性状相似的现象。“种瓜得瓜，种豆得豆”即是最基本的遗传现象。遗传的物质基础是基因。基因主要是有遗传效应的 DNA 片段。基因由亲代传给子代，在子代的发育过程中，通过控制蛋白质的合成来控制子代的

性状。遗传是生物的基本特征之一。具有相对稳定性。

【变异】同种生物个体间在形态、生理等性状上的差异。俗语说“一母生九子，九子各别”，即是基本的变异现象。变异是普遍存在于生物界的生命现象。从变异的原因上看，可把变异分为两类。一类是由于遗传基础发生改变而产生的变异（突变），如红眼果蝇中出现的白眼果蝇，称遗传的变异；另一类是由环境条件引起的变异，如同一种小麦种植在不同环境中植株高度上的差异，称不遗传的变异。变异的出现往往是遗传和环境两种原因综合作用的结果，区分遗传变异和不遗传的变异是困难的，通常要经过杂交试验方能确定。从变异的形式上看，变异又分为连续变异和不连续变异，前者指群体中呈现连续不断的变异，如身高、体重、产量等；后者指可以归并为分布上不重叠的几群变异，如豌豆的开红花与白花、种子的圆形和皱形、花的腋生和顶生等。研究遗传的变异是遗传学所要探讨的主要内容。遗传的变异是生物进化的主要原料，是生物进化的内因。

【基因】有一定遗传效应的 DNA 片段，是遗传物质的最小功能单位。除某些病毒（如劳斯病毒、脊髓灰质炎病毒等）的基因由核糖核酸（RNA）构成外，多数生物的基因均由脱氧核糖核酸（DNA）构成。基因的概念随遗传学的发展不断完善。孟德尔 1866 年在《豌豆杂交试验》论文中提出控制性状的遗传物质是一些行为和功能上相对独立的遗传因子。1909 年丹麦学者约翰逊将遗传因子称为基因。随着经典遗传学的建立和发展，认为基因在染色体上按一定顺序呈直线排列，它是一个不可分割的、兼有功能、重组和突变特性的遗传单位。1944 年埃弗里等指出，导致细菌转化

的因素不是蛋白质而是 DNA。1953 年沃特森和克里克提出 DNA 分子结构的双螺旋模型，进一步肯定了基因的化学本质是 DNA。1955 年本泽用 T₄ 噬菌体为材料研究了基因内部的精细结构，提出了“顺反子学说”，认为基因是一个功能单位，又是可分的，其内部有许多可以发生突变和重组的位点，分别称为“突变子”和“重组子”，它们可以小到一对核苷酸。这就修正了经典遗传学对基因的看法。20 世纪 70 年代，重叠基因、断裂基因及跳跃基因相继发现，又进一步揭示了基因的特性。随着科学的发展，人们对基因的认识还会不断加深。基因的概念也还会不断的发展。基因一般位于染色体（真核生物的染色体由 DNA 和蛋白质构成，原核生物的 DNA 无蛋白质，称为核区或拟核）上，还有一类细胞质基因，如线粒体基因和叶绿体基因等。染色体上往往有很多基因，目前各国正开展对果蝇、玉米和人类等的基因定位工作。基因作为遗传物质具有自体复制、突变和决定性状等基本特性。从功能上看，基因可分为：（1）编码蛋白质的结构基因。（2）没有翻译产物的基因（如编码各种 tRNA 和 rRNA 的基因）。（3）不转录的基因（如各种调控基因）。基因可以人工合成，也可以从生物基因组中分离出来，并建立基因文库。由此可见，基因早已不是一个抽象的名词，它是一类具体存在的遗传物质。目前通过基因工程技术，已能在人的干预下，使有利基因在体外进行重组，产生有用物质，为人类造福。

【等位基因】位于同源染色体上相同位置的基因。二倍体生物体细胞中的同源染色体是成对出现的，因此，对于染色体上的某一特定位置，应有两个等位基因。若这两个等位基因是相同的，则称纯合体，否则，则称杂合体。在杂合体中，两个等位基因对表现

型的控制是复杂的，若表现型仅由其中一个基因决定，则该基因称显性基因，另一个称隐性基因；但有时，杂合体表现出某种中间性状，如紫茉莉的白花基因和红花基因的杂合体的花色为浅红色，这种现象称不完全显性。等位基因的遗传遵循分离定律。在减数分裂形成配子细胞时，等位基因随同源染色体的分离而分开，即每个配子细胞中只含有一个等位基因。在自然界中，被视为正常的、占多数的等位基因，称为野生型基因；由野生型基因发生突变而得到的等位基因，称为突变型基因。如果同一位置上存在有两种以上的等位基因，则称为复等位基因。复等位基因只能存在于生物群体中，而不可能同时存在于同一个生物体上，如控制人类 ABO 血型系统的基因 (I^A 、 I^B 和 i) 就是复等位基因。

【显性基因和隐性基因】杂合体中控制表现出来的性状的基因为显性基因，如豌豆杂合体 Cc 中控制红花的基因 C 。杂合体表现出来的性状称显性性状，如杂合体 Cc 所表现出来的红花性状。杂合体中未表现性状，只有纯合后才表现性状的基因为隐性基因，如豌豆杂合体 Cc 中的 c 基因。杂合体中未表现，只有纯合后才表现的性状称隐性性状，如豌豆的白花性状。显、隐性基因作用的化学基础为显性基因控制有功能物质（如酶）的合成，隐性基因不能控制有功能物质的合成，显性纯合体和杂合体中，显性基因控制合成的产物足够正常个体的需要，所以两种类型的个体均表现显性基因控制的性状。显性基因和隐性基因不是绝对不变的。基因的性质往往受整个基因系统和内、外环境条件的影响，而呈现出显、隐性的相对性。显性基因通常用大写英文字母表示，如豌豆的红花基因 C ，隐性基因用小写字母表示，如豌豆的白花基因 c ，也有用两个字母表示的情况，如玉米籽粒的显性非糯基因常用 W_x

来表示，隐性糯质基因常用 w_x 来表示。

【野生型和突变型】在自然界中，一个野生种群内占优势的基因、性状或个体，人为地定为野生型。常有野生型基因、野生型性状或野生型个体的称呼。在野生种群中，若发生了基因的突变，该基因可称突变型基因，突变型基因控制的性状，称突变型性状，具有突变基因（或突变性状）的个体，称突变体。

【纯合体和杂合体】同源染色体相对位置上具相同基因的细胞、组织或个体称纯合体，如 AA 、 aa 等。纯合体能真实遗传，后代不发生分离；同源染色体相对位置上具不同基因的细胞、组织或个体称杂合体，如 Aa 等。杂合体不能真实遗传，后代将发生分离。纯合体与杂合体在二倍体或多倍体细胞、组织或个体中均可出现。个体含大量基因，难以获得全部基因座位一律为纯合或一律为杂合的状态，所说的纯合体或杂合体往往仅就所研究的一对或几对基因而言。

【性状】生物个体所具有的可鉴别的特性。包括形态特性、生理生化特性、解剖结构和本能行为等。一般情况下，性状是由基因决定的，在一个或多个基因的控制作用下，通过合成不同的蛋白质决定不同的形态结构和生理功能；同时，性状的表现也会受到环境的影响。如豌豆的花色、小麦的抗锈病能力等，一般由相应的基因决定；而人的身高等虽由遗传的因素决定，但如果营养好，积极锻炼，则可以在一定范围内发生改变。所以说，性状往往是由基因型和环境共同作用决定的。

【单位性状】表面上看来似乎相互独立的性状。比如豌豆的花色、籽粒的饱满程度、植株的高度等。孟德尔认为，一个遗传因子（基因）控制一个性状，基因是独立的遗传单位，性状似乎也是相互独立的，因而称为单位性状。但严格地讲，复杂的生物体中，多数不存在基因和性状一对一的关系，基因之间常有互作，性状之间也有联系，单位性状提法不够全面。孟德尔豌豆杂交试验中选用的是一些有明显相对差异的单位性状即所谓相对性状。参见“相对性状”。

【相对性状】生物体属同一类型（如植株的高矮、花色的红白、翅的长短等）的成对性状。相对性状由等位基因控制。具一对相对性状的个体进行交配，子二代出现典型孟德尔式分离比（3 : 1）。

【不完全显性】又称部分显性或半显性。杂合体表现出中间性状的显性类型。比如开红花的紫茉莉与开白花的紫茉莉杂交，子一代表现开粉红花，子二代表现 1 红 : 2 粉 : 1 白的分离，表现型与基因型的分离比例相同。不完全显性是显隐性相对性的一种情况，共显性（并显性）、镶嵌显性、条件显性及性显性等是显隐性相对性的另一些表现。显隐性相对性的研究，发展了孟德尔的显性理论。

【基因型】又称遗传型。指生物体全部遗传物质的总和。一般基因型无法直接观察，但可通过杂交、测交等实验手段加以判定，此时基因型指控制某一相对性状的等位基因的组合，如等位基因 A 和 a，在个体遗传中可组成 AA、Aa、aa 等基因型。生物体所表现的性状是由生物的基因型控制的，但基因型所决定的往往不是唯一的表现型，而是一个特定的表型范围，即相同的基因型在不同

的条件下可能发育成不同的表现型。生物体的性状受遗传因素和环境因素的共同影响。

【表现型】又称表型。指一个生物体所能观察到的特性的总和。表现型由生物体的基因型决定，同时受到环境因素的影响。通过对表现型的研究可以追寻到某一基因型的遗传规律及其受环境影响的程度。

【血型遗传】人类的血型是由基因控制决定的，由父母遗传给子女。目前已发现的人类血型系统有许多种，较常见的有 ABO 血型系统、Rh 血型系统、MN 血型系统等。ABO 血型系统由一组复等位基因 I^A 、 I^B 及 i 控制（其中 I^A 、 I^B 为显性基因， i 为隐性基因），A 血型的基因型是 $I^A I^A$ 或 $I^A i$ ；B 血型的是 $I^B I^B$ 或 $I^B i$ ；AB 血型的是 $I^A I^B$ ，O 血型的是 ii 。因此，由父母的血型就可分析出子女的血型范围，如血型分别为 O 型（基因型 ii ）和 AB 型（基因型为 $I^A I^B$ ）的父母，据孟德尔遗传学定律分析可知，其子女只可能是 A 血型（基因型 $I^A i$ ）或 B 血型（ $I^B i$ ）。假定控制 Rh 血型系统的等位基因是 D 和 d。则 Rh 阴性的人为隐性基因纯合体（ dd ），Rh 阳性的基因型或是纯合体（ DD ）或是杂合体（ Dd ）。通过对血型分析，可以对亲子关系加以鉴定。由于血型系统的相对稳定性（较少发生突变），血型遗传分析可用于研究遗传方式及途径；若某致病基因与某些控制血型的基因位于同一染色体上，则可通过血型对某些遗传性疾病加以预测。

【家系分析】利用表示祖先和后代血缘关系的图谱（系谱），进行孟德尔式遗传性状的分析。人类遗传性状的研究，不能通过设计

婚配方式来进行，利用系谱分析是人类遗传学和医学遗传学中重要的研究方法。

【杂交】一般指有性繁殖生物中，两个基因型（如 AA 与 aa）不同的个体进行交配（生殖细胞融合）并产生杂种后代的过程。远缘杂交肯定是杂交；近交中的自交不属于杂交，其他类型的近交则为杂交。经典遗传学中，杂交是主要的研究方法。细菌的接合、转化和转导、噬菌体的混合感染，以及体细胞遗传学中不同基因型的细胞融合，亦常称杂交。杂交分有性和无性两种。一条 DNA 或 RNA 单链与另一条不同来源的核酸单链结合，形成 DNA/DNA、RNA/RNA 或 DNA/RNA 等类型，则称为分子杂交。

【正、反交】又称互交。两亲本互做父、母本的杂交方式。比如 $\text{♀} A \times \text{♂} B$ ，人为定为正交， $\text{♀} B \times \text{♂} A$ 则称反交。遗传学中，利用正、反交可以检验细胞核遗传、性连锁和细胞质遗传。细胞核的常染色体遗传，正、反交子₁代均表现一致（表现显性或表现中间性状），比如开红花豌豆和开白花豌豆杂交，正、反交子一代均表现开红花；性连锁遗传的正、反交结果不同，比如果蝇红、白眼的正、反交表现了不同形式的交叉遗传；细胞质遗传的正、反交，子一代均表现母本性状，比如叶绿体的遗传。

【测交】某种基因型个体和相应的隐性个体的测验性杂交。比如基因型为 CC 或 Cc 的红花豌豆和隐性白花豌豆 cc 的杂交。测交是遗传学中极为有用的研究方法，通过测交可以了解被测验个体的基因型和它形成的配子类型及其比例。上述的测交实验中，若测交后代均表现红花，说明被测的红花个体基因型为纯合型 CC；若

测交后代表现为红花：白花 $=1:1$ ，说明被测红花个体基因型为杂合型 Cc ，它产生数目相等的两种配子，一种含红花基因 C ，一种含白花基因 c ，这是等位基因分离的结果。测交验证了分离规律的正确。在一定的情况下，测交是回交的一种，比如 $CC \times cc$ 杂交后，欲测 F_1 代的基因型，选取隐性亲本进行的测交就是一种回交。但测交不一定是回交，比如 $AAbb \times aaBB$ 杂交后，欲测子₁代基因型，必须另选隐性个体 $aabb$ ，所做的测交就不是回交。

【基因互作】一般指非等位基因间的相互作用以控制某种性状的现象。一些杂交实验的子二代，出现了 $9:3:3:1$ 分离比例的各种变型，例如 $12:3:1$ 、 $9:3:4$ 、 $9:7$ 、 $13:3$ 等，遗传学家认为，这是两对自由组合基因相互作用，共同控制性状的结果。基因和性状之间不是一对一的关系，不同的等位基因彼此互作，共同控制性状的表现。基因互作的主要方式有：互补作用、积加作用、抑制作用和上位作用等。例如一些聋人可能由于某对基因不正常（如 $aaBB$ ，隐性的 aa 引起耳聋）；另一些聋人可能由于另一对基因不正常（如 $AAbb$ ，隐性的 bb 引起耳聋），上述两种不同基因型的聋人结婚，子一代的全部个体和子二代的 $9/16$ 的后代，耳聋缺陷都得到克服。这就是非等位基因（显性基因 A 和 B ）之间发生了互补作用的结果。

【基因多效性】一个基因影响若干个明显无关性状的现象。如豌豆的红花、叶腋斑点及褐色种皮就是由同一基因控制的。基因的多效性主要是由于基因控制着细胞的种种生化过程，而各种生化过程在生物体内又往往是相互联系、高度综合的，所以一个基因常常影响若干性状。事实上大多数基因与性状之间并不存在一对一

的关系，基因的多效性几乎是所有基因的特性。

【外显率】在特定环境中，某一基因在群体中表现的百分比。外显率是种群的特征之一。若具有某个基因的个体，都表现了该基因所控制的性状，就说这个基因有完全的外显率，有的基因在所有个体中不一定都表现，表现出来多的基因其外显率高；相反则外显率低。例如果蝇变型腹（腹部有不规则条纹）纯合突变基因，在种群中只有 15% 的个体表现出变型腹，这种突变基因的外显率即为 15%。基因的外显率在两性性别个体中可以一致，也可以不一致或仅在某种性别中表现。

【表现度】在特定环境中，具同一基因的个体在表现上差异的程度。某基因在不同个体表现性状一致，称该基因的表现度一致；另一基因在不同个体出现了不同程度的差异，称表现度不一致。例如，果蝇横脉缺失突变基因在众多个体中，从横脉完全缺失到横脉不同程度缺失各种类型都有，我们就说横脉缺失基因有不同的表现度。同一基因在雌、雄个体中，表现度可能相似也可能不同。一种基因有外显率的问题也有表现度的问题。外显率和表现度既决定于基因型也受环境条件的影响。

性别决定与伴性遗传

【性别决定】雌雄异体生物决定个体性别的因素和方式。在 20 世纪以前，科学家多认为动物性别是由妊娠时的作用条件决定的；20

世纪性染色体发现后，人们逐渐认识到决定动物性别的是性染色体。生物界中较普遍的是 XY 型性别决定，即含 XY 染色体的生物个体是雄性，而雌性体内的性染色体为 XX。也有某些生物（如某些鸟类、昆虫等）是 ZW 型性别决定，即含 ZW 性染色体的是雌性，而含 ZZ 性染色体的是雄性。70 年代末，对性别决定的研究又有了进一步的发展，渥其太尔、奥诺等人根据实验结果提出了 H-Y 抗原学说。其内容为：H-Y 抗原基因存在于 Y 染色体短臂，而 H-Y 抗原的存在会导致雄性器官的分化；一旦 H-Y 抗原被 H-Y 抗体封闭，就会抑制雄性器官的分化，导致雄性器官向雌性器官的转化。关于性别决定的机理仍在进一步研究中。

【伴性遗传】又称性连锁遗传。位于性染色体上的基因所控制的性状，常伴随着性别而传给后代的遗传方式。伴性遗传是摩尔根等人于 1910 年做红、白眼果蝇杂交实验时发现的。伴性遗传有三类：（1）X 连锁隐性遗传。控制某些性状的基因位于 X 染色体上，Y 染色体上无对应的等位基因。该基因为隐性时，表现为父亲可以通过女儿将某些性状传给外孙；若该隐性基因为致病基因时，则女性发病率远低于男性，如红、绿色盲和血友病。（2）X 连锁显性遗传。若位于 X 染色体上的显性基因能致病，则女性患者数目高于男性，如抗维生素 D 佝偻病。（3）Y 连锁遗传。决定某些性状的基因只存在于 Y 染色体上，表现为父传子，子传孙。毛耳遗传可能是一种 Y 连锁遗传。

【性染色体】有性别差异的真核生物中，与性别有关的一对染色体，称性染色体，如 X 染色体和 Y 染色体。X 染色体大、携带的基因多；Y 染色体小，携带很少基因。进一步研究发现，人类的 X 与

Y 染色体上有同源部分也有非同源部分, 由于 Y 染色体上基因很少, X 染色体上大部分基因在 Y 染色体上没有它们的等位基因。X 和 Y 染色体上基因控制的性状均表现为伴性遗传。X 和 Y 染色体的不同组成, 决定了生物的性别。染色体组中, 性染色体以外的所有染色体, 称常染色体。从进化上看, 性染色体由常染色体分化而来, 分化越深, X、Y 染色体的同源部分就越少。

【XY 型性决定】含两条 X 染色体表现雌性, 含一条 X 和一条 Y 染色体表现雄性的性决定类型。XY 型性决定在生物界较普遍, 比如很多雌、雄异株植物, 很多昆虫、某些鱼类、两栖类、所有的哺乳动物 (包括人类) 均属此种类型。雌性 (XX) 只产生一种含 X 染色体的卵, 遗传学上称只产生一种配子的性别为同配性别, 这里雌性 (XX) 为同配性别; 雄性 (XY) 产生一种含 X 染色体和另一种含 Y 染色体的精子, 遗传上把产生两种配子的性别称异配性别, 这里雄性 (XY) 为异配性别。雌性 (XX) 和雄性 (XY) 交配时, 由于雌、雄配子随机结合, 后代雌、雄个体比数, 理论上为 1 : 1, 这是 XY 型性决定的生物世代间维持雌雄性比接近 1 : 1 的原因。人类生男生女决定于父亲的道理也明显可见。果蝇表面上看为 XY 型性决定的生物, 实际上 Y 染色体与性别决定的关系不大。往往只有一个 X 染色体时就是雄性, 但不育。

【XO 型性决定】含两条 X 染色体表现雌性, 只含一条 X 染色体表现雄性的性别决定类型。蝗虫、蟋蟀和蟑螂等直翅目昆虫属于此种类型。雌性产生一种含 X 染色体的卵, 雄性产生一种含 X 染色体的精子和另一种不含性染色体的精子。XO 型生物可能是 XY 型生物在演变过程中, Y 染色体消失的结果。

【蜜蜂的性决定】单倍染色体决定雄性、双倍染色体决定雌性的性决定类型。一些膜翅目的昆虫如蜜蜂、胡蜂、蚂蚁等属此类型。这类生物没有性染色体。以蜜蜂为例，雄蜂（ $n=16$ ）与蜂皇（ $2n=32$ ）交配后，大部分卵受精成为二倍体受精卵，孵化后，获丰富营养者发育为能育的蜂皇（ $2n=32$ ），其余绝大多数由于营养较差发育为不育的职蜂，也叫工蜂（ $2n=32$ ）；少部分卵不受精，发育成单倍体的雄蜂（ $n=16$ ）。单倍体雄蜂产生精子的第一次减数分裂，染色体不减数，全部染色体进入细胞的一极，细胞另一极分裂出一团无核的原生质（不久消失）。减数分裂的第二次分裂与正常情况相同，一个精母细胞只产生两个精细胞（正常二倍体生物精母细胞产生四个精细胞），每个精细胞分化为精子，各含有 16 条染色体。

【巴氏小体】又称 X 小体或性染色质体。雌性哺乳动物细胞核中呈浓缩状态的 X 染色体。1949 年由美国巴尔等人在猫神经节细胞中发现，故名。巴氏小体是 X 染色体异染色质化（与绝大多数染色体螺旋化不同步）而失活的结果。它位于间期核的核膜处，呈一深染的卵圆形或三角形小体，大小为 1—1.5 微米。巴氏小体的数目一般为细胞中 X 染色体的数目减一。正常雄性个体没有或极少有巴氏小体；正常雌性个体中 20%—96% 的细胞中有一个巴氏小体。性染色体异常的 XXX 个体，在一定数目的细胞中常有两个巴氏小体，余类推。医学上利用口腔粘膜和发根细胞进行巴氏小体的检查。巴氏小体常可为医学遗传研究、临床诊断和法医鉴定，提供细胞遗传学上的依据。

【莱昂氏假说】对巴氏小体进行解释的一种假说。1961 年英国莱昂提出，故名。该假说认为：通过 X 染色体的失活调节了雌、雄个体间 X 染色体数目的不平衡，这是一种剂量补偿作用。雌性个体细胞中两条 X 染色体中那一条失活是随机的，失活出现在胚胎早期。细胞中一旦某条 X 染色体失活，则由它分裂的所有细胞都是这条 X 染色体失活。雌性个体的体细胞中，有的细胞是这条 X 染色体失活；有的细胞是另一条 X 染色体失活，从这一角度上说，雌性个体的体细胞为一嵌合体。不少人支持这一假说，一些间接和直接的证据也证明了它的正确，例如一条 X 染色体上具有能控制合成葡萄糖-6-磷酸脱氢酶的显性基因，另一条 X 染色体上具有不能控制合成此酶的隐性基因，这种杂合女性个体中，由于携带着不同基因的 X 染色体，在不同细胞中的随机失活，一些细胞中有葡萄糖-6-磷酸脱氢酶存在，另一些细胞中没有这种酶，这一实验是莱昂氏假说较为有力的证据。X 染色质的出现是复杂的生物学问题，仅依据莱昂氏假说的解释还不能尽善尽美。

连锁与互换

【连锁与互换定律】美国科学家摩尔根等根据果蝇双因子杂交试验得到的、解释不同性状之间连锁（或不完全连锁）遗传原理的定律，也称第三遗传定律，是孟德尔遗传定律的补充。其内容为：非等位基因位于同一染色体上，构成一个基因连锁群，在形成配子时，作为一个整体被转移到配子中去，产生不同性状一起遗传的现象（即未发生根据孟德尔定律应出现的不同性状之间的自由组

合), 这种现象称连锁。一般情况下, 染色体的数目与连锁群的数目是一致的。在自然界中, 完全连锁的现象并不多见, 在减数分裂时, 常会发生同源染色体的非姊妹染色单体之间局部交换的现象, 即等位基因间发生对换, 非等位基因得以重组, 使同一染色体上的基因不再一起遗传, 这种现象称互换。连锁和互换定律揭示了同一染色体上各基因的遗传规律, 成为育种工作的重要理论基础。

【连锁】位于同一染色体上的多个基因连在一起遗传的现象。基因的连锁遗传导致亲本某些性状在后代相伴出现。基因连锁很少是完全的, 同源染色体的对应部分往往发生部分交换, 这类连锁称不完全连锁(部分连锁)。少数情况(如雄果蝇和雌家蚕)连锁的基因一般不发生交换, 称完全连锁。连锁遗传 1906 年由贝特森在香豌豆的杂交试验中首先发现, 两对基因的遗传, 子二代不表现典型的 $9:3:3:1$ 的分离, 而是亲本组合较多, 重新组合的类型较少。基因的连锁互换作为遗传规律(现称遗传的第三个基本定律), 是由美国遗传学家摩尔根等人通过果蝇的杂交试验确立的。连锁遗传规律的发现, 进一步证实了染色体是基因的载体, 为染色体遗传学说奠定了基础。对育种工作也有重要指导作用, 不完全连锁所产生的基因重组是生物变异的来源之一, 对生物的进化发展有重要意义。

【完全连锁】具有不同相对性状的纯种亲本杂交, 在其测交后代中, 只有亲本类型而无重组类型的现象。完全连锁比较罕见。雄果蝇和雌蚕是完全连锁的典型例子, 它们任何一条染色体上的连锁基因都没有发生交换。

【不完全连锁】具有不同相对性状的纯种亲本杂交，在其测交后代中，不仅有亲本类型，还有重组类型，但亲本类型个体数明显多于重组类型个体数的遗传现象。例如已知玉米子粒有色（C）对无色（c）为显性，饱满（Sh）对凹陷（sh）为显性。以玉米有色、饱满的纯种与无色、凹陷的纯种杂交获得 F_1 ，然后用双隐性纯合体（ccshsh）与 F_1 测交，得有色饱满（CcShsh）4032 粒、有色陷凹（Ccshsh）149 粒、无色饱满（ccShsh）152 粒、无色凹陷（ccshsh）4035 粒。表明 F_1 虽然形成 4 种配子，但数目不等。以百分比计， F_1 配子的比例不象自由组合遗传那样为 1 : 1 : 1 : 1 而是 48.2 : 1.8 : 1.8 : 48.2。这就证明，两对非等位基因（C、c 和 Sh、sh）不是自由组合的，而是连系在一起遗传的，结果形成了数目不等的亲本型配子。后来的研究发现，减数分裂的粗线期阶段，同源染色体的非姊妹染色单体之间常发生了部分的交换，结果形成了重组型的配子。由于交换只发生在少数染色单体的局部节段，所以最终形成的亲本类型个体甚多而重组类型个体甚少。此种现象就是不完全连锁。

【交换】又称互换。同源染色体间的基因交换。交换一般对等，但也有不对等的情况。不同基因有不同交换频率，同源染色体某个位置发生的交换可对邻近位置的交换发生增强或减弱的影响，一些生物的性别和生物所处的环境条件对交换频率也有一定影响。减数分裂双线期的交叉是交换的细胞学证据。交换打破连锁，产生的基因重组是生物多样性及进化发展的原因之一。

【连锁图】又称遗传学图或基因位置图，用以表示某一物种染色体

上已知基因的相对距离。基因距离常用遗传重组作图的方法（如三点测验）测得。以去掉百分符号的重组值作为基因的距离单位。遗传学家已绘制了果蝇和玉米等生物的连锁图。在遗传研究和育种工作中，连锁图是重要的参考资料。

【连锁群】位于同一染色体上的基因群。一个物种的基因连锁群数，理论上等于该种生物染色体的对数。比如果蝇的染色体对数为 4 ($2n=8$)，果蝇的基因连锁群的数也是 4。实际上报导的某生物的连锁群的数目，有时不等于它的染色体对数，比如小家鼠连锁群的数为 13，而它的染色体对数是 20，这是由于还有 7 个基因连锁群未被发现。了解基因连锁群有利于进行基因的定位工作。同一连锁群内的基因遵循连锁和互换的遗传规律；不同连锁群的基因遵循自由组合的遗传规律。

【三点测交】测定三个连锁基因在染色体上排列位置和距离的杂交方法。这种通过一次杂交即可测定三个基因位置和距离的方法，最早由斯特蒂文特于 1913 年提出。具体步骤如下：（1）选取带有三个隐性基因的个体；（2）通过杂交获得三对基因的杂合体；（3）三对基因杂合体与三隐性个体测交；（4）根据测交后代数据求出基因间的单交换和双交换值，并依此定出基因的顺序和距离。三点测交的基因定位方法比两点测交的基因定位方法优越，一是方法简便，一次试验等于三次两点试验；二是测定准确，一次试验误差小于三次试验的误差，还可以获得两点测验中得不到的双交换资料，为相距较远基因距离的准确测定提供了方便。

【四分子分析】对减数分裂产生的四分体进行的遗传学分析。对二

倍体生物进行遗传学分析一般采用测交方法,这种方法费时费力,还一定要有隐性的个体。对一些真菌、苔藓和藻类等单倍体生物的遗传分析,则是直接分析被包在一个子囊中的四分体。这种分析方法是利用这类微生物的生物学特性(减数分裂产生的四分体集中在一个子囊中)来进行的。四分子分析方法简单、明确,基因的分离、自由组合和连锁互换等行为直接分析子囊中四分体的表现即可看出;还可进行基因与着丝粒之间的距离测定;发现一些难以在高等动植物中看到的现象如基因转换等。四分子分析可分为:(1)顺序四分子分析(减数分裂产生的四分体在子囊中成直线排列,如粗糙链孢霉(*Neurospora crassa*))。(2)非顺序四分子分析,如构巢曲霉(*Aspergillus nidulans*)。

数量性状遗传

【数量遗传】又称数量性状遗传、多基因遗传。由微效多基因控制的数量性状的遗传方式。1908年,尼尔松·埃勒在小麦红粒和白粒杂交试验中,发现其杂交籽粒颜色由红色至白色深浅不等,逐渐过渡,因而提出多基因假设,即某一性状由一个以上的基因控制。40年代,马瑟提出微效基因概念,即控制数量性状的许多基因中,每个基因的作用都是微小的,但却有累加作用。数量遗传的特点是:数量性状由许多基因控制,个体间的差异是连续的,无法对其性状进行明显的区分,如人的身高等。控制数量性状的等位基因间无明确的显隐关系,易受环境因素影响而产生一定范围的变异;数量遗传无法求出其分离比率,只能用统计学方法加以

研究。由于家畜的肉产量和泌乳量、棉花的纤维长度等经济性状，大部分是数量性状，因此数量遗传的研究对指导育种工作有重要意义。

【数量性状】界限不明显、不易分类、个体间呈连续变异的性状，如人的高矮、体重、作物产量等。对数量性状在称、量、计数后，采取统计学分析方法进行研究。常用的参数有平均数和方差。数量性状由多数微效基因控制，呈连续的正态分布，即中间类型最多，极端类型较少。数量性状易受环境影响。一般作物和经济动物的性状多属数量性状，对数量性状的研究有利于动植物育种，在进化上研究连续的微小变异往往比研究非连续的变异更有价值。深入研究发现，质量性状和数量性状的界限有时不是绝对的，比如小麦红粒和白粒，从红与白有明显差异上看，可把它当成质量性状；但仔细区分红粒可发现从深红到浅红的连续性变化，小麦红、白粒色又可属数量性状的范围。

【质量性状】差异明显、易于分类的性状，比如果蝇的红眼和白眼；豌豆种子的黄色和绿色等等。控制质量性状的基因称主基因。孟德尔研究的性状均属质量性状。对质量性状的研究，常采取以概率统计为基础的分析方法。

染色体畸变

【染色体畸变】染色体结构和数目的改变。20 世纪初，首先在果蝇

的体细胞中发现。按发生原因不同，可将染色体畸变分为自发和诱发两种。按性质的不同，染色体畸变可分为结构畸变和数目畸变。结构畸变主要表现为染色体的重复（即正常的染色体多出了相同的一段）、缺失（即正常的染色体上缺少了一部分）、倒位（即正常染色体上某一区段及其上所载基因倒转）、易位（即两对非同源染色体某一区段的转移）等。染色体结构畸变是在外因或内因的作用下，染色体发生一个或多个断裂，当其以不同于原来的形式接合时，就产生了结构畸变。染色体数目畸变表现为染色体数目成组地增加或减少（即染色体倍性的变化）或某一染色体数目的增减。染色体数目畸变主要是由于减数分裂产生配子时，染色体复制和分配失常所致。染色体畸变可导致减数分裂异常及后代遗传变异的发生。染色体畸变也用于育种工作，如培育三倍体无籽西瓜，八倍体小黑麦等。

【染色体结构变异】染色体结构上的变化。是染色体畸变的一种。可自发或人工诱发产生。解释染色体结构变异产生的假说，认为染色体断裂后发生了非正常的愈合。染色体结构变异有缺失、重复、倒位和易位等。前两类变异涉及到染色体上基因的增、减；后两类只涉及基因排列顺序的变化。一对同源染色体往往一条发生结构变异，这种个体也称杂合体，如缺失杂合体、易位杂合体等。各种染色体结构变异均有相应的细胞学和遗传学效应，如同源染色体配对时出现的缺失环、倒位圈；基因连锁关系的改变以及性状的变化等。用细胞学和遗传学的方法可进行鉴别。染色体结构变异的发现，进一步证明了基因位在染色体上的遗传理论。同时对诱变育种、人类遗传病诊断和防治，以及环境有害物质的检测等都有重要意义。

【缺失】染色体结构变异的一种。染色体部分区段的丢失。分中间缺失和末端缺失。如果同源染色体中一条有中间缺失，另一条是正常的，则在联会时可见缺失环。较大片段缺失，个体往往死亡；微小部分缺失，往往引起生活力下降和某些独特表型出现。比如雌果蝇 X 染色体的部分缺失，杂合体的翅膀上产生缺刻，胸部小刚毛分布错乱；雄果蝇 X 染色体的部分缺失则不能成活。人类第 5 染色体短臂上的缺失，患儿两眼距离较宽、耳位低下、智力迟钝，往往早夭，由于哭声似猫叫而被称为“猫叫综合征”。

【重复】染色体结构变异的一种。染色体部分片段发生了重复，即一个染色体片段在同一染色体或不同染色体上出现不止一次的现象。重复部分基因顺序不变的称顺接重复；基因顺序改变的重复称反接重复。重复片段有大小之分。发生在染色体中部的重复杂合体，在减数分裂粗线期或果蝇唾腺染色体标本中，有时可以看到联会异常的重复圈。重复的遗传学效应比缺失缓和，但大片段的重复，也可使个体生活力下降甚至死亡。染色体某特定区域的重复可产生特定的表型特征，例如果蝇 X 染色体上 16A 区段的重复，就能使果蝇复眼中单眼数目减少，复眼从卵圆形变为棒形，即出现棒眼突变型。

【位置效应】由于基因位置改变而引起的效应。染色体结构变异导致位置效应。果蝇 X 染色体 16A 区段重复的位置不同，产生不同表型，是位置效应的典型实例。正常雌果蝇两条 X 染色体上，各有一段 16A 区，果蝇复眼中，小眼数为 750 个，复眼呈卵圆形；16A 区段出现两份时，若两份重复分别在两条 X 染色体上，小眼数降

至 68 个，复眼呈棒状，若两份重复集中在一条染色体上，小眼数再下降为 45 个，复眼进一步变窄、变小，称之为加倍棒眼。重复区段数目相同，仅位置排列不同就产生了不同的表型，可见基因的近邻是重要的。基因在染色体上的位置有功能上的意义。位置效应分为：(1) 稳定型 (S—型) 例如果蝇棒眼；(2) 花斑型 (V—型，不稳定型) 例如果蝇花斑眼色和玉米花斑胚乳。

【倒位】染色体结构变异的一种。一条染色体中部发生两处断裂，断下的片段倒转 180° 后再重新连接上。倒位部分包括着丝粒者称臂间倒位；不包括着丝粒的称臂内倒位。适当长度的倒位杂合体，在减数分裂粗线期或果蝇唾腺染色体标本中可见到倒位圈。臂内倒位杂合体在倒位圈内若发生一次交换，减数分裂第一次分裂后期将出现染色体桥和断片；臂间倒位杂合体倒位圈内发生一次交换，不会出现桥和断片。不论是否出现桥和断片，两种倒位都将形成两种正常配子（一含正常染色体、一含倒位染色体）和两种不育配子（含缺失和重复染色体）。不同程度的配子不育是鉴定倒位杂合体的标志。倒位可抑制倒位圈内的基因重组。

【易位】染色体结构变异的一种。常指非同源染色体之间片段的转移。单方向转移称单向易位；相互交换染色体片段称相互易位。易位不同于交换，前者发生在非同源染色体之间，后者发生在同源染色体之间。两对非同源染色体间较长片段的相互易位，在粗线期往往出现十字形图象；在中期时两对染色体呈“O”形或“ ∞ ”形。完成减数分裂后，常形成部分不育的配子。易位打破了基因原有的连锁关系。

【罗伯逊易位】又称着丝粒融合。因最先由罗伯逊于 1916 年发现，故名。两条非同源近端着丝粒染色体，在着丝粒区断裂，两长臂于着丝粒区融合，形成一个亚中部或中部着丝粒的染色体，而带有很少基因的两短臂却丢失。含罗伯逊易位的个体，染色体数目减少，但遗传物质丢失不多。人类的罗氏易位一般无严重先天畸型，智力发育基本正常。有的学者认为罗氏易位可能是哺乳动物核型进化的一种形式。

【染色体数目变异】染色体数目上的异常，是染色体畸变的一种。包括染色体倍数性变化和非倍数性变化。不论何种类型的染色体数目变异，都涉及到遗传物质整倍或非整倍的增、减，必然带来细胞学和遗传学的一些变化，通过相应的手段可进行鉴别。染色体数目变异在基因定位、染色体工程及育种工作中均具有重要意义。

【染色体倍性】细胞中所含的染色体组的数目。大多数真核生物的体细胞中均含有两个染色体组，称二倍体。同时，生物界也存在着单倍体（体细胞中只含一个染色体组）和多倍体（体细胞中含有两个以上染色体组）生物。染色体数目的变化多发生在世代交替的过程中，且以染色体组为单位增减，称倍数性改变。染色体倍性变化可用于育种工作，如利用三倍体植物在产生配子细胞的减数分裂受到干扰而导致不育的现象，培育三倍体无籽西瓜等。

【整倍性变异】以染色体组为单位的增、减。是染色体数目变异的一种。包括单倍体和多倍体两种类型的整倍性变化，多倍体类型中，一般又包括同源多倍体和异源多倍体。各种整倍性变异，在

细胞学和遗传学均产生一定的效应。

【非整倍性变异】指染色体组中个别染色体的增或减。包括三体、四体、单体、缺体等。是染色体数目变异的一类。各种非整倍性变异一般使个体减数分裂不正常、个体不能成活或生活力大为降低。

【单倍体】含配子染色体数目的细胞、组织或个体。单倍体分两类。一类为单元单倍体，由二倍体生物产生，如玉米的单倍体含一个染色体组（即 $n=10$ ）；另一类为多元单倍体，由多倍体物种产生，如小麦单倍体含一个包括 3 个祖先染色体组（即 $n=3x=21$ ）的染色体组。自然界一些低等植物（真菌的菌丝体时期、苔藓的配子体等）和某些雄性昆虫（如雄性蜜蜂）都是单倍体。自然界的单倍体生长发育和育性正常，是长期适应的结果。利用人工方法（如通过花药培养等方法）可诱发单倍体。单倍体生物减数分裂不正常，配子几乎完全不育，与二倍体相比，单倍体植物个体弱小，有时还出现白苗。但植物单倍体的诱导成功，有利于研究个体发育、细胞分化和基因表达等理论问题。同时，由于单倍体加倍后不发生分离，故可缩短育种期限，提高选择效率。中国“京花一号”小麦新品种等就是通过单倍体育种获得的。

【多倍体】含两个以上染色体组的细胞、组织和个体。比如三倍体（ $3n$ ）、四倍体（ $4n$ ）等。含多个相同类型的染色体组的多倍体称同源多倍体；含多个不同类型的染色体组的多倍体称异源多倍体。多倍体在植物界广泛存在，约占植物界的 $1/2$ ，其中多数分布于被子植物中，异源多倍化是植物进化的一种趋势。不少农作物都是

多倍体，比如小麦、棉花、花生、甘蔗、土豆、香蕉、苹果、梨、桑树、茶树、菊花、郁金香、水仙等等。动物界多倍体极罕见。多倍体可自发产生也可由人工诱发产生。具体途径有：(1) 减数分裂异常，形成多倍的性细胞。(2) 受精过程异常，比如双受精。(3) 物、化因素干扰有丝分裂而导致染色体加倍。(4) 远缘杂交和染色体加倍等。多倍体植物形态和生理生化特性上不同于二倍体植物，它们在减数分裂过程中的染色体行为及杂种后代性状表现均较复杂。利用多倍体进行育种，已成为重要的育种方法之一。目前植物的多倍体育种工作，已取得很大的成绩。

【同源多倍体】含多个相同类型染色体组的多倍体。自然界通过异常减数分裂或异常受精等途径形成，也可通过极端温度、超声波、嫁接、切断等物理手段和化学诱变（如用秋水仙碱、茶骈乙烷等）以及一些特殊杂交而获得。同源多倍体的细胞、茎、叶、花、果实等器官往往表现巨大性，但生长缓慢、成熟迟缓；细胞内含物（如糖、蛋白质）含量有增高趋势，配子育性不高或几乎不育（少数育性正常），靠无性繁殖方法延续后代。同源多倍体有特殊的细胞学和遗传学特点。一些同源多倍体有经济价值。(1) 同源三倍体：自然界的三倍体均为同源三倍体，染色体组中每种染色体均有三条，减数分裂同源染色体配对形成三价体或一个二价体和一个单价体，后期同源染色体非正常分离（3—0 或 2—1），配子中染色体数目的不平衡，造成不育。有经济价值的三倍体如三倍体杨树生长迅速，三倍体桑和茶抗寒力强，三倍体甜菜含糖量大为增高等。此外，香蕉和无籽西瓜也是三倍体。(2) 同源四倍体：染色体组中每种染色体均有四条，减数分裂同源染色体配对形成两个二价体或一个三价体和一个单价体，也可能仅形成一个

四价体，后期同源染色体分离方式多样（2—2，3—1，4—0），配子中染色体数目不配套或基因和染色体在质和量上的不平衡造成了不育，少数同源四倍体育性正常，如四倍体荞麦、四倍体芝麻等。同源四倍体具一定经济价值，如四倍体橡胶草，橡胶含量比二倍体提高 60% 左右，四倍体蕃茄的维生素 C 比二倍体大约提高一倍等。

【异源多倍体】含多个不同类型染色体组的多倍体。人工或自然条件下，通过远缘杂交（参见“远缘杂交”）和染色体加倍获得。自然界的多倍体以异源多倍体居多，如小麦、棉花、烟草、甘蔗等。异源多倍体减数分裂中，同源染色体配对正常，育性正常或育性不高。异源多倍体是纯种，后代不发生分离。1927 年苏联学者卡尔佩琴科首先用萝卜（RR，代表两个染色体组）和甘蓝（BB）杂交，育成了人工异源四倍体的“萝卜甘蓝”（RRBB），由于具有萝卜和甘蓝各两个染色体组，故又称其为双二倍体，这种异源四倍体无经济价值，但是一个新种。中国学者鲍文奎等通过小麦（AABBDD）异源六倍体和黑麦（RR）远缘杂交育成的人工异源八倍体“小黑麦”（AABBDDRR），其中每一基本染色体组的基数均为 7。异源八倍体小黑麦具抗逆力强、生长势强、穗大、籽粒蛋白质含量高等优点。小黑麦减数分裂同源染色体配对正常，但遗传上的不平衡使育性仍不理想，结实率低，种子饱满度差。目前还在不断选育，力求使它在生产上发挥更大的作用。

【单体】染色体非整倍性变异的一种。在二倍染色体基础上，缺少一条染色体的细胞、组织或个体。以 $2n-1$ 表示。减数分裂偶线期，有一条未配对的染色体。理论上单体生物应产生 n 和 $n-1$ 两

种配子。雄性蜜蜂是自然界存在的单体生物 (XO)。单体的产生是减数分裂过程中, 偶然出现 $n+1$ 和 $n-1$ 的配子, 当它们与正常异性配子 (n) 结合时, 即可得到三体 and 单体。单体生物一般不能成活或出现异常。果蝇中缺少了一条点状第 4 染色体的单体, 虽能成活, 但个体弱小, 发育迟缓、生育率低, 死亡率高; 人类偶见的特纳氏综合症患者 (XO), 则表现出性别畸型等症状。一般二倍体生物, 很少出现单体; 但多倍体生物容易获得单体, 比如栽培小麦是异源六倍体有 21 对染色体, 目前已获得了 21 种单体类型, 它们表型上都有一定的差异。当要研究的等位基因恰好处在缺少的那条染色体上时, 则此单体个体与二倍体个体杂交, 后代表现不同于两个二倍体个体的杂交, 据此可利用单体进行基因定位。

【三体】染色体非整倍性变异的一种。在二倍染色体的基础上, 多了一条染色体的细胞、组织或个体。以 $2n+1$ 表示。若多了两条不同的染色体则称为双三体 ($2n+1+1$)。减数分裂偶线期出现三价体等异常情况。理论上三体能产生 n 和 $n+1$ 两种配子。单体产生的过程常伴随着三体的出现, 二倍体与三倍体杂交, 也可出现三体。果蝇中出现过第四染色体的三体。由于第四染色体小, 三体性状无大变化。当所研究的等位基因恰好处在多出的那条染色体时, 则此三体与二倍体杂交结果不同于两个二倍体的杂交。在曼陀罗 ($2n=24$) 已获得了全部 12 种三体, 它们在形态上都各不相同。人类中了解最多的是 21 号三体, 称为“先天愚型”, 患者具有一系列表型症状。人类还有性染色体三体 (XXX)。

【四体】染色体非整倍性变异的一种。在二倍染色体基础上, 某对

染色体多了两条,以 $2n+2$ 表示。减数分裂偶线期出现四价体,若分析的等位基因恰好处在额外染色体上时,产生的配子类型以及测交、自交后代表现与同源四倍体相同。

【缺体】染色体非整倍性变异的一种。在二倍染色体的基础上,缺了一对同源染色体的细胞、组织或个体。以 $2n-2$ 表示。可能产生 $n-1$ 配子。单体生物自交可获得缺体。缺体对生物影响较大,仅在异源多倍体植物可能出现缺体,比如异源六倍体栽培小麦已获得 21 种缺体,它们和正常的小麦的差异明显,一般长势弱,配子往往部分不育。亦可利用缺体进行基因定位。

【染色体组】又称基因组。二倍体生物中,来自一个配子的全部染色体及其上的一套基因,常以 n 表示。例如玉米的性细胞中有 10 条染色体,所以玉米的染色体组 $n=10$ 。染色体组中,各条染色体的形态、大小、功能各异,它们共同控制着生物的正常生长、发育和遗传变异。一些多倍体植物的染色体组中,含有若干个祖先种(基本种)的染色体组。祖先种染色体组常用 x 表示,以与 n 相区别。 x 所含的染色体数目,称为染色体基数(也有人将 x 与 n 混用)。例如栽培小麦是二倍体 ($2n=42$),但从起源上看,栽培小麦染色体组由 A、B、D 三个祖先种组成,每个祖先种染色体组的基数都是 7,所以栽培小麦又是异源六倍体,即 $2n=6x=42$ 。

【核型】又称染色体组型。一个生物个体的染色体组。通常以有丝分裂中期染色体的数目和形态表示。可按其长度、着丝点位置及其它形态特征,依次排列编号。核型具有种的特异性,即不同种生物体的染色体组型不同,因此通过比较染色体组型,可以对生

物间的亲缘关系等加以判断。目前，核型分析已用于染色体疾病诊断、遗传病产前诊断及肿瘤的诊断等。

基因突变

【突变】偶然发生的可遗传的变异。突变包括染色体畸变和基因突变。一般狭义突变指的是基因突变。基因突变是基因内部化学性质的改变，又称点突变，它区别于染色体结构上明显可见的畸变，但细微的染色体畸变和基因突变的界限不明显。基因突变常使一个基因变成另一个新的等位基因。自然因素引起的突变称自然突变；人工引起的突变称诱发突变。两种突变的特性（如突变的可逆性、多方向性及有害性等）基本一致。突变和重组是生物进化的基础（产生可遗传的变异），而重组是“流”，突变是“源”；所以归根结底，没有突变就没有生物的进化。突变的发现及研究对认识遗传物质的本质、对培育生物新品种都开辟了广阔的前景。

【基因突变】又称点突变。指单个基因内部结构上的变化。基因突变现象广泛存在于自然界中，突变可以是自发的，也可以是人工诱发的。基因突变是一随机过程，有可能有利于生物体，如细菌对抗菌素的抗性突变；也可能对生物体无影响或有害于生物体，如人体某些癌症的发生，就起源于基因突变。基因突变可分两类：一是碱基置换突变，指由于碱基对改变造成的突变；二是移码突变，指一对或几对核苷酸增加或减少，以致这一位置以后的一系列编码发生移位而造成的突变。基因突变是生物变异的最基本源泉。

【自然突变】又称自发突变。自然因素引起的突变。自然因素包括自然环境中的一些强烈因素，如宇宙线、极端的温度变化及某些化学物质等；生物体内某些生理生化产物也可引起自然突变。自然界中自然突变普遍存在，但突变频率很低。

【诱变突变】又称人工诱变或人工引变。人为条件引起的突变。诱变因素中，一类为物理因素、如各种射线，包括 α 、 β 射线、X 射线、中子、质子、紫外线、超声波、激光以及极端的温度等；另一类为化学因素，如秋水仙碱、亚硝基胍、甲基磺酸乙酯、硫酸二乙酯、乙烯亚胺等。人工诱变可大大提高基因的突变频率。人们已利用诱变突变培育出不少植物及微生物的新品种。

【诱变育种】用化学、物理等手段诱发基因突变，以得到所需性状的育种方法。诱发基因突变的方法有两种：（1）物理方法。用 X、 α 、 β 、 γ 等射线或紫外线、超声波等照射生物，以诱发变异；（2）化学方法。用秋水仙素、芥子气等诱变剂处理生物诱发变异。人工诱发突变能提高突变率，扩大变异幅度，且改变性状效果明显；诱发变异得到的性状稳定快，可缩短育种年限。诱发育种多应用于微生物育种，如青霉素的生产；也可应用于作物育种。

【突变率】生物体在一个世代中，或其他规定的单位时间内，在特定条件下，细胞发生突变的概率。在高等动、植物，突变率一般指突变配子数占总配子数的比例。不同生物突变率各异。不同基因有相对恒定的不同的突变率，例如控制玉米非腊质胚乳的 $\bar{W}_x$ 基因突变率小到难以测出；而控制玉米籽粒和植株颜色的 R 基因

在 10 万配子中有 49 个发生突变。突变率受生物内、外环境的影响。人工诱变情况下可提高基因的突变率。

【碱基替换】基因突变的一种方式。DNA 分子中原有的碱基被另一种碱基所替代，结果使遗传密码发生了变化，导致蛋白质中氨基酸残基的种类和顺序发生了改变。碱基替换分为：(1) 转换。嘌呤被嘌呤替代，如腺嘌呤变为鸟嘌呤或鸟嘌呤变为腺嘌呤（即 $A \rightarrow G$ ，或 $G \rightarrow A$ ）；嘧啶被嘧啶替代，如胸腺嘧啶变为胞嘧啶或胞嘧啶变为胸腺嘧啶（ $T \rightarrow C$ 或 $C \rightarrow T$ ），结果使 DNA 分子中 A—T 配对变成 G—C 配对或 G—C 配对变成 A—T 配对。(2) 颠换。嘌呤被嘧啶替代，如 $G \rightarrow C$ ，使 DNA 分子中 G—C 配对变成 C—G 配对， $G \rightarrow T$ 时，使 DNA 分子中 G—C 配对变成 T—A 配对；嘧啶被嘌呤替代，如 $T \rightarrow G$ ，使 DNA 分子中 T—A 配对变成 G—C 配对， $C \rightarrow A$ 时，使 DNA 分子中 C—G 配对变成 A—T 配对。

【移码突变】基因突变的一种，DNA 分子中，增加或减少一对碱基或几对碱基，遗传密码发生移位，引起遗传密码编组改变，致使蛋白质中的氨基酸残基种类发生变化的突变。吡啶类染料的分子能嵌入 DNA 分子，通过复制和不等交换，导致碱基对的增加或减少，从而引起了移码突变。

【同义突变】DNA 分子发生碱基替换或移码突变，但蛋白质中，氨基酸顺序不发生变化的一种突变，比如碱基发生了变化，mRNA 密码由 GAU 变成 GAC，由于这两种密码均编码天冬氨酸，所以突变型和野生型没有区别。

【错义突变】碱基替换或移码突变结果，密码发生改变，比如 UGG 变成了 GGG，多肽链中的色氨酸残基变成了甘氨酸残基，改变了蛋白质的性质，最终出现明显的性状突变。

【无义突变】碱基替换或移码突变的结果，终止密码（UAA、UAG 或 UGA）提前出现，多肽链合成半途中断，形成不完整的多肽链，使蛋白质失活或失去正常功能。

【影印培养】一种用以证明突变选择说的接种培养法。由美国莱德伯格夫妇于 1952 年首创。其方法见图。首先把大肠杆菌接种到含完全培养基的培养皿上，经过一定时间保温，形成许多菌落（a）。然后用一端扎有消毒丝绒的影印器（b）在有菌落的培养基上按一下，使菌落转到丝绒的相应位置上。再用此影印器分别在另一组（数个）含噬菌体 T1 的培养基（c）上按一下。在这些培养皿上作标记，以确定菌落的位置。经过一段时间保温后，对噬菌体敏感而无抗性的菌落消失，只有对噬菌体有抗性的菌落保存下来（d）。另将原有菌落（a）分别接种到含噬菌体的试管中（e），结果只有抗噬菌体的菌落能存活（f），而此菌落在原培养基 a 上的位置也恰好与影印板上的抗噬菌体菌落的位置（d）相同。这表明，在大肠杆菌的群体中，早就存在着抗噬菌体的变异体，含噬菌体的培养基并不能诱导大肠杆菌产生抗噬菌体的菌落，它不过是对不同的突变体起选择作用而已。

影印培养法示意图

细胞质遗传

【细胞质遗传】 又称核外遗传、非染色体遗传、非孟德尔式遗传或母系遗传。由存在于细胞质内的基因所控制的遗传现象。细胞质基因在细胞核外，不在染色体上，一般存在于叶绿体、线粒体上。

细胞质遗传的特点是：(1) 母系遗传。在高等动植物中，卵细胞除含有细胞核外，还含有丰富的细胞质，而精子主要含有细胞核，因此细胞质遗传表现为母系遗传，即正、反交均表现母体性状。(2) 非孟德尔式遗传。细胞质基因在配子形成过程中，随机地分配，因此不发生孟德尔式的分离比。细胞质基因与核基因一样，也是通过控制蛋白质的合成而控制生物性状的。细胞质遗传与染色体遗传在一定程度上是互相独立的，但也彼此互相影响。细胞质遗传所控制的诸多性状中，雄性不育已广泛应用于作用育种工作。

【母体影响】子代表型受母体基因型影响的现象。母体基因的产物，积累在细胞质中，受精卵的细胞质几乎全部来自雌配子，从而导致母体影响。根据母体基因影响子代个体发育时间的长短，母体影响分为两种。(1) 短暂的母体影响：母体基因仅影响子代发育的某一阶段。例如，麦粉蛾野生型幼虫有色，成虫复眼深褐色。有色个体 (AA) 与无色个体 (aa) 杂交， F_1 (Aa) 都是有色的。Aa 与 aa 测交，后代表现出不同的情况，如 Aa 是雄蛾，后代有半数的幼虫是有色的，成虫复眼是深褐色的，这与一般测交的情况相同。如 Aa 是雌蛾，aa 的幼虫也是有色的，但这种母体影响是暂时的，随着幼虫的发育，色素逐渐消耗，到成虫时复眼变成深红色。这是因为 aa 个体缺乏 A 基因。不能自己制造色素的缘故。(2) 持续的母体影响：母体基因影响子代的一生，如椎实螺外壳开口方向的遗传。壳旋方向由一对核心基因控制，右旋 (D) 对左旋 (d) 是显性。但杂交时壳旋方向不由本身的基因型决定而由母体的基因型决定。椎实螺为雌雄同体，可以杂交，也可以自交。两个不同旋向的品系正反交之后，进行自交，后代的表现如下：当基因型个体为母本时 F_1 皆为右旋；当 dd 为母本时 F_1 皆为左旋。

F_1 自交, 由于正反交的 F_1 基因型都是 Dd , 所以正反交的 F_2 都是右旋。每一种基因型的 F_2 再自交, F_3 的 DD 和 Dd 个体为右旋, dd 个体为左旋。表明母体的影响持续了一代。由于母性影响和细胞质遗传都和母体有关 (或受母体基因控制或受母体细胞质基因控制), 有人将它们均归为母性遗传。实际上二者有本质区别。

【持续饰变】 又称持久饰变。极端环境因素引起的表型变异, 当失去诱导因素时, 变异仍可通过细胞质持续几代而最终消失。

【叶绿体遗传】 细胞质遗传的一种。叶绿体中含有自主复制的遗传物质——叶绿体 DNA, 它控制着叶绿体的遗传和变异。紫茉莉枝条颜色的遗传是叶绿体遗传的典型实例。已知有的紫茉莉同一株上同时生有绿色、白色和花斑色三种枝条。绿色枝条的质体含有叶绿素; 白色枝条的质体不含叶绿素; 花斑色枝条的质体有的含叶绿素, 有的不含叶绿素, 因此枝条呈现花斑色。如果让白枝上花的雌蕊接受绿枝 (或其他枝) 上的花粉, 子一代幼苗全部为白苗, 不久即死亡; 让绿枝上花的雌蕊接受白枝 (或其他枝) 上的花粉, 子一代幼苗全部为绿色; 花斑枝上花的雌蕊授以绿枝、白枝或花斑枝的花粉, 子一代出现白、绿和白绿花斑的植株。以上三种情况表明, 子一代所表现的性状完全由母本来决定。在这些情况下, 母本细胞质中的叶绿体基因就起了决定的作用。

【线粒体遗传】 细胞质遗传的一种。线粒体中含自主复制的 DNA, 控制了线粒体的遗传变异, 如酵母大、小菌落的遗传属线粒体遗传。

【雄性不育】雄蕊发育不全，不能产生正常的花粉，而雌蕊发育正常，可产生正常卵细胞，接收正常花粉受精结实的现象。雄性不育普遍存在于植物界，其产生机制主要有三类：（1）核不育型。雄性不育由细胞核内的一对隐性基因控制；（2）质不育型。雄性不育由细胞质基因控制，此种情况下，不育植株作为母本与可育植株交配，子代仍为不育型；（3）核质互作型。植株的细胞核内及细胞质中都具有不育基因时，才表现为不育型。利用雄性不育现象进行杂交育种，可免去去雄的步骤，大大降低了工作量，对杂种优势的利用起了重要作用。目前，已成功地将玉米、水稻、棉花等作物的雄性不育系用于大面积种植，提高了作物产量。

遗传物质的分子基础

【DNA 重复顺序】在真核生物中，重复出现在 DNA 分子上的核苷酸序列。DNA 重复序列在细胞中数量可观，可占其 DNA 总量的 20% 至 80%。重复频率大于 10^5 的为高度重复顺序；在 10^2 — 10^5 之间的为中等重复顺序。DNA 重复顺序的功能尚未有确切的解释，推测可能为：（1）参与维持染色体的形态结构；（2）作为基因间隔物；（3）调节基因转录；（4）通过突变创建新的基因等。

【操纵基因】位于 DNA 分子上，能与阻遏蛋白结合的区域。操纵基因通过与阻遏蛋白结合可抑制其后一个或一组结构基因的表

达。

【DNA 复制】合成与原来的 DNA 分子完全一样的 DNA 分子的过程。DNA 的复制需多种酶参与，分起始、延长和终止三个阶段进行。首先，DNA 分子双链在酶的作用下解离，通过特异性碱基互补配对，每条链分别合成一条与其碱基互补配对的新链，新链合成后，便与作为模板的一链结合，形成双链结构。DNA 分子复制时，链的分离、复制与结合是同步进行的，即 DNA 分子从某一起始点开始，边解离、边复制、边结合，直到整个双链分子复制出两个与原来 DNA 分子完全一样的 DNA 分子。由于每个新的 DNA 分子中，都有一条来自模板的链，这种复制方式也称“半保留复制”。

【遗传物质】系指控制生物性状遗传的物质。即亲子代间传递遗传信息的物质。如染色体、核蛋白及核酸等一类物质。科学实验证明，遗传物质就是核酸，绝大多数生物的遗传物质是脱氧核糖核酸（DNA），少数病毒及类病毒为核糖核酸（RNA）。脱氧核糖核酸是一种生物大分子，结构相对稳定，是贮存遗传信息的载体，它具有两种重要的生物功能。（1）自我复制，将遗传信息准确无误地从亲代 DNA 分子传递给子代 DNA 分子。保证性状遗传的连续性。（2）转录，DNA 分子通过转录把遗传信息传递给 RNA，并通过转译控制各种蛋白质的生物合成，使亲代的遗传性状在子代中重新显现出来。一般讲，细胞核中的染色体、核蛋白，细胞质中某些细胞器，都可称为遗传物质，但是主要起决定性作用的遗

传物质，仍然是 DNA。

【转化】一个生物品系由于吸收了另一个生物品系的遗传物质而发生遗传性变化的现象。1928 年格里菲斯首先在肺炎双球菌中发现转化现象，以后在其它许多细菌中也发现了类似现象。转化实际上是同物种或近缘物种间的一种基因转移方式，某一物种细胞的 DNA 分子片段，被另一种细胞吸收，整合在该细胞的 DNA 分子上，使该种细胞的基因型发生变化，并产生稳定的遗传。细菌的转化也受外界条件的影响，如升高温度可提高肺炎双球菌整合外源 DNA 的机率等。

【肺炎双球菌转化实验】1944 年，美国科学家艾弗里等人。从光滑型肺炎球菌（有荚膜、有毒性、菌落光滑、称 S 型）中提取 DNA、蛋白质和多糖物质，并分别与粗糙型肺炎双球菌（无荚膜、无毒性、菌落粗糙、称 R 型）一起培养，发现只有 DNA 能使一部分粗糙型细菌，转变为光滑型，而且转化的频率与 DNA 的纯度有关，DNA 越纯转化率越高。若将 DNA 事先用脱氧核糖核酸酶降解，再和粗糙型肺炎双球菌一起培养，粗糙型菌就不能转化成光滑型菌。已经转化的细菌，所获得的光滑型性状可以遗传给后代。这一实验充分说明了，DNA 是起转化作用的遗传物质。

【噬菌体转导实验】遗传物质借助于病毒从一个细菌转移到另一个细菌的过程。转导作用的特点是以病毒作为传递 DNA 的媒介。例如，以噬菌体 P_{22} 为媒介的沙门氏杆菌之间的转导作用，如图所示。

当野生型沙门氏杆菌 (Leu^+) 受噬菌体 P_{22} 感染后, 噬菌体 P_{22} 就在细菌内大量增殖, 一部分细菌染色体 DNA (例如与合成亮氨酸有关的酶基因) 可以组合到噬菌体 P_{22} 的 DNA 中去, 当这样的噬菌体再去感染亮氨酸缺陷型沙门氏杆菌 (Leu^-) 时, 可使受体菌 (Leu^-) 的染色体获得野生型的染色体 DNA, 而转变为 Leu^+ 型。所以转导作用是外源 DNA 与受体菌基因组 DNA 进行重组的结果。转导作用已成为细菌遗传学研究的重要工具。可以用来分析细菌染色体的精细结构。大肠杆菌乳糖操纵子的分离, 就是利用转导方法而获得成功的。

【烟草花叶病毒拆合实验】烟草花叶病毒 (TMV) 是一个巨大的分子, 分子量约 4000 万, 长约 300 纳米 (nm), 由 2200 条相同的多肽链 (亚基) 和一条 RNA 链组成, 每条肽链由 158 个氨基酸残基组成, RNA 链分子量约为 210 万, 占病毒全重的 5%。1955 年, 英国科学家弗伦克尔-康拉德和威廉斯报导: 将 TMV 颗粒经去垢剂或弱碱溶液处理后, 可解离为多肽链及 RNA。单个多肽链并无感染力; 单个 RNA 虽有感染力, 但很微弱。然后将这些蛋白质和 RNA 组分混合在一起, 就能重新组合产生具有生物活性的、有感染力的烟草花叶病毒颗粒。将 TMV 分离为蛋白和 RNA 组分, 然后混在一起, 能重新组装成 TMV 的现象, 称为烟草花叶病毒的自身装配。

沙门氏杆菌的转导示意图

【转录】以 DNA 分子为模板合成 RNA 分子的过程。通过转录，DNA 分子上所包含的遗传信息转移到 RNA 分子上去，以指导蛋白质的合成。转录的基本过程为：RNA 聚合酶与 DNA 分子上的开始点结合，使 DNA 分子从开始点起局部地解旋，然后沿着 DNA 分子的一条链，按碱基互补原则合成一条 RNA 链，直至遇到 DNA 分子上的终止信号为止。随后，RNA 聚合酶离开 DNA 分子，RNA 单链也脱离 DNA 分子，DNA 分子两条链重新结合，形成双链分子。此时得到的 RNA 单链称为前体 RNA，经过断裂和化学改造等修饰加工过程后，成为成熟的 mRNA、tRNA 或 rRNA 分子。

【转译】又称翻译。以信使 RNA (mRNA) 作模板合成蛋白质的过程。蛋白质合成的场所是细胞质中的核糖体, mRNA 上所含的遗传信息决定氨基酸的排列顺序, 转运 RNA (tRNA) 能与某一种氨基酸结合, 并识别特定的遗传密码。转译过程需要酶的参与, 首先有关的氨基酸被激活, 由相应的 tRNA 将其转运到核糖体上, 从开始点起, 依 mRNA 上的遗传信息决定氨基酸的排列顺序, 直到转译终止。然后, 核糖体释放肽链。一个 mRNA 分子可以控制形成一个或多个肽链。由肽链经过折迭再构成特定的蛋白质。

【中心法则】以 DNA 为模板合成 mRNA, 再以 mRNA 为模板合成蛋白质的遗传信息传递过程。在这过程中生物遗传信息的传递方向是 DNA→mRNA→蛋白质。最初认为生物体的遗传信息贮存在 DNA 中, 然后从 DNA 转录给 mRNA, 再由 mRNA 翻译为蛋白质, 这一过程又称基因表达。DNA 能通过自我复制而进行繁殖, 这就是分子遗传学的“中心法则”。但是, 由于逆转录酶的发现, 该酶可以催化 RNA 指导合成 DNA。这样, 对中心法则就必须加以修正。

【三联体密码】又称密码子。众多蛋白质是由 20 种氨基酸组成的。这 20 种氨基酸在蛋白质多肽链中排列顺序, 由脱氧核糖核酸 (DNA) 分子内的脱氧核苷酸排列顺序所决定。DNA 上的脱氧核苷酸排列顺序经转录作用移至信使核糖核酸 (mRNA) 的分子上。信使核糖核酸分子, 每三个相邻的核苷酸, 在蛋白质生物合成中, 决定某一个氨基酸在多肽链中的位置。在信使核糖核酸分子上, 决定某一种氨基酸的三个相邻的核苷酸, 就称为遗传密码、密码子

或三联体密码。三联体密码由四种核苷酸的碱基代表。在 DNA 中由 A、G、C、T 代表，在 mRNA 中由 A、G、C、U 代表。每一种氨基酸的三联体密码都能在遗传密码词典中查到。遗传密码的基本特点是：(1) 密码无标点符号，即两个密码子之间没有任何东西隔开。因此，要正确地阅读密码，必须从一个正确的起点开始，连续不断地一个密码子接一个密码子往下读，直至终止信号。(2) 密码子具有简并性，即多数氨基酸都可以具有数组密码子。例如亮氨酸有六组密码子，甘氨酸有四组密码子等，但色氨酸和甲硫氨酸却只有一组密码子。(3) 密码子中前两位碱基的专一性强，第三位的碱基专一性较差。所以氨基酸具有多组密码子时，头两位碱基都相同，而第三位碱基不同。(4) 密码子的通用性，无论原核生物、真核生物，还是病毒都共用一套密码词典（细胞质基因的个别密码子例外）。

【遗传密码词典】又称密码字典。应用生物化学和遗传学的研究技术，已经充分证明是三个碱基编码一个氨基酸。仅仅用了四年的时间，于 1965 年完全查清了 20 种天然氨基酸的 64 组遗传密码，编出遗传密码词典。64 个密码中，有 61 种是氨基酸的密码。每种氨基酸可以有 1—6 种密码。另外三个密码（UAA、UAG、UGA）不编码任何氨基酸，称终止密码，也就是蛋白质合成的终止信号。在 61 个氨基酸密码中，AUG 是甲硫氨酸的密码，同时，也是起始密码。

【碱基配对原则】在 DNA 分子的双螺旋结构中，位于两条多核苷酸链上的嘌呤碱基和嘧啶碱基可以围绕着螺旋轴通过形成氢键而互相搭配成对，碱基间这种形式的结合，就称为碱基配对。碱基

配对的原则是：（1）嘌呤碱基专与嘧啶碱基配对，而且腺嘌呤（A）专与胸腺嘧啶（T）配对（在 RNA 分子中，腺嘌呤专与尿嘧啶（U）配对）；鸟嘌呤（G）专与胞嘧啶（C）配对。（2）四种可能的碱基对为 A—T、T—A、G—C 和 C—G。A 和 T 间构成两个氢键，G 和 C 间构成三个氢键。四种碱基对的大小几乎相同。（3）配对的两个碱基之间是互补的，这样有利于氢键的形成，对双螺旋结构起稳定作用。碱基配对原则，对 DNA 的半保留复制，具有特别重要的意义。它对遗传信息的稳定传递提供了分子基础。保证亲代的遗传信息完整地传递给子代，使子代获得亲代的遗传性状。

【逆转录】以 RNA 为模板合成 DNA 分子的过程。1964 年，坦明等首先在肿瘤细胞中发现逆转录过程，1970 年，又提取到逆转录酶。逆转录现象只在某些病毒中存在，过程大致为：在逆转录酶作用下，以病毒 RNA 为模板，按碱基互补原则合成一条 DNA 链，杂交的 DNA-RNA 双链分子，在 DNA 聚合酶的作用下，复制出 DNA 双链分子。逆转录的发现修正了中心法则，在基因工程中，可将易于得到的 mRNA 逆转录成互补 DNA（cDNA）分子，以得到目的基因。

【操纵子】在原核生物及部分真菌中，由操纵基因和结构基因组所组成的 DNA 片段。在染色体 DNA 分子上，有结构基因、操纵基因、发动因子（启动子）和调节基因。这些基因在染色体上依次连接成一个连锁群。操纵基因受调节基因所产生的抑制物（阻遏蛋白）控制，而操纵基因又直接控制着结构基因。操纵子上的每一个结构基因，都可以合成 mRNA，进而翻译成蛋白质（酶）。当

操纵基因开放时，即能合成 mRNA，关闭时便不能合成 mRNA。

【启动子】又称启动因子或启动子基因。在 DNA 分子上，可与 RNA 聚合酶连结的那个位置，由 DNA 指导的 RNA 聚合酶所识别，为起始信号的附着处，它指示转录，从这里开始形成 mRNA。启动子是一个比较短的 DNA 片段，大的 100 个核苷酸左右。它位于调节基因和操纵基因之间。

【阻遏蛋白】由调节基因产生的蛋白质。先由调节基因 DNA 转录成阻遏 mRNA，然后翻译成阻遏蛋白。这种蛋白是无活性的阻遏蛋白，当它与阻遏物（小分子）结合后，才变成活性阻遏蛋白，它可与操纵基因结合使之失去操纵作用，结构基因不能进行转录和翻译，阻止蛋白质（酶）的合成。相反，如果加入诱导物，则诱导物引起阻遏蛋白构象的变化，使其不能同操纵基因结合。此时，操纵基因发生作用，使结构基因转录成 mRNA，并进一步翻译成蛋白质（酶）。

【结构基因】一种为多肽链或 RNA 编码的基因。其核苷酸顺序决定一条多肽链的氨基酸顺序，也可决定一条多核苷酸的顺序。结构基因决定其最终产物多肽链或 RNA 的结构。它直接受操纵基因的控制，还受其他一些基因的调节。

【调节基因】一种合成阻遏物进而控制操纵子的基因。主要通过阻遏蛋白、阻遏物和诱导物来控制。已知从原核细胞到真核细胞都有调节基因，不同的是：原核细胞的调节基因与它所控制的操纵子常连锁在一起；而真核细胞的调节基因则可以分布在不同的染

染色体上。

【割裂基因】又称不连续基因或断裂基因。在真核生物的染色体上，由于内含子的存在，使真核生物基因成为不连续基因或断裂基因。如鸡卵清蛋白基因含有 7 个内含子，把卵清蛋白基因分割成 8 个外显子，其中一个为编码前导顺序的 DNA 片段。另外，这个基因的内含子部分比外显子部分长得多，鸡卵清蛋白基因共有 7700 个碱基对，而其 mRNA 只有 1872 个核苷酸。

【重叠基因】又称基因重叠。不同基因在核苷酸顺序上相互重叠的现象。最初认为 DNA 上的一个编码区的核苷酸顺序，只能编码一种蛋白质，即基因不重叠。但后来发现的事实表明，基因是可以互相重叠的。例如，噬菌体 ϕX_{174} DNA，是由 5375 个核苷酸组成的单链环状 DNA 分子，它含有 10 个基因，其中有 6 个重叠。

【外显子】基因中为蛋白质编码的 DNA 片段。在原核生物中的 DNA 是编码基因产物的一个完整片段，而真核生物中的 DNA 出现了不为多肽链编码的 DNA 片段，称内含子，而把为多肽链编码的片段称外显子。

【内含子】基因中不为蛋白质编码的片段。大多数真核生物为蛋白质编码的基因中，含有不为多肽链编码的 DNA 片段。其转录产物不在有功能的成熟 mRNA 中出现。内含子不连续地存在基因之中。

【重组修复】属复制后修复。即先复制再修复。紫外线照射可使

DNA 分子中，同一条链上相邻的胸腺嘧啶碱基之间形成二聚体 (TT)。这种二聚体是由两个胸腺嘧啶碱基以共价键联结成环丁烷的结构形成的。嘧啶二聚体的形成，影响 DNA 的双螺旋结构，使其复制和转录功能都受到阻碍。含有嘧啶二聚体或其它结构损伤的 DNA 仍可进行复制，但子代 DNA 链在损伤的对应部位出现缺口。在重组修复过程中，二聚体并未除去。当进行第二轮复制时，留在母链中的二聚体仍会给复制带来困难。复制经过损伤部位时所产生的缺口，还需通过同样的重组过程来弥补。随着复制的不断进行，若干代以后，虽然二聚体始终未从亲代分子中除去，而损伤的 DNA 链却逐渐被稀释，最后终于不妨碍正常的生理过程，损伤也就得到了修复。

【DNA 修复】 DNA 分子受到损伤（单键断裂、碱基受损等）后，在酶作用下重新恢复的过程。DNA 分子损伤修复的基本机制有切除修复（在酶作用下切除损伤碱基，接上正确的碱基）、光修复（在可见光下，酶将错误聚合的碱基裂解）及复制后修复（切除修复后仍有损伤的 DNA 分子片断，并在损伤部位的对侧留下空隙，然后在亲、子代 DNA 片断重组时进行增补。这种修复方法有可能出现差错）等。当 DNA 修复机制有缺陷不能正确修复时，就可能发生突变。某些癌症即是由于修复机制缺陷而引起的。通过对 DNA 修复的研究，可以了解基因突变的机制，对衰老及癌变作出解释；同时也可用于环境致癌因子的检测。

【光复活修复】 又称光复活。光复活作用是一种高度专一的修复方式，它只作用于紫外线引起的 DNA 嘧啶二聚体（DNA 分子中同一条链内两个相邻的胸腺嘧啶碱基之间形成二聚体）。这种二聚体

是以共价键联结成环丁烷的结构而形成的。光复活是由光复活酶催化的。它专一分解嘧啶二聚体。这种酶在生物界分布很广，从单细胞生物一直到鸟类都有，而高等的哺乳类动物却没有。这说明在生物进化过程中，光复活作用逐渐被暗修复系统所取代，并丢失了这种酶。

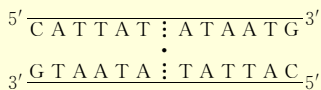
【暗修复】在 DNA 修复过程中，不需要光照的修复作用。如切除修复和重组修复。切除修复是在一系列酶作用下，将 DNA 分子中受损伤的部分切除掉，并以完整的那一条链为模板，合成出切除的部分，然后使 DNA 恢复正常结构的过程。切除修复过程发生在 DNA 复制之前，所以又称复制前修复。这是一种普遍的修复机制，它对多种损伤均能起修复作用。切除修复可分为四个步骤：(1) 通过特异的核酸内切酶，将损伤部位的 DNA 单链切断；(2) 以另一条完整的 DNA 链为模板，由 DNA 聚合酶在断处进行局部的修复合成；(3) 在 5' -核酸外切酶作用下将含有二聚体的损伤片段切除掉；(4) 最后 DNA 连接酶将新合成的 DNA 链与原来的链接上。

【顺反子】又称作用子。基因的同义词。DNA 分子上决定一个特定多肽链氨基酸顺序的一段核苷酸序列。可通过顺反实验加以确定。断定两个突变属于不同顺反子的实验根据，是这两个突变型的顺式或反式构型均表现为野生型。属于同一顺反子的两个拟等位突变型的反式结构的表型为突变型，只有顺式结构的表型才是野生型。这说明一个顺反子是一个不可割裂的功能单位。

【编码链】又称有义链。有转录功能的 DNA 链。在生物体内，基

因的两条链中，只有一条用于转录；另一条只能进行复制，无转录功能，这条链可能对转录起调节作用。具有转录功能的 DNA 链为编码链或称有义链。另一条链称为非编码链或反义链。但是有义链并不总是在染色体 DNA 的同一条链上，而是在一条 DNA 链上，同时具有某些基因的有义链和另一些基因的反义链。

【回文序列】又称回文结构。系指 DNA 构象改变的一种类型。其核苷酸排列顺序，在顺读和反读（如 5' — 3' 或 3' — 5'）都是一样的。又称反向重复结构或倒转重复序列。这种结构可以在每条链内形成发夹结构或形成十字形结构。许多回文结构涉及上千个碱基对。短的回文结构在真核细胞染色体 DNA 中高度重复出现。在原核生物 DNA 中也有，但较真核细中少。如



大多数限制性核酸内切酶的识别部位都是回文序列。

【转座因子】DNA 分子上能够改变自身位置的一段核苷酸序列。包括从染色体的一个位置转移到另一个位置，或从质粒转移到染色体上。由美国女科学家麦克林托克首先发现。有些转座因子只含有与转座有关的基因；有些还含有其他的结构基因。某些噬菌体本身就是转座子。转座子可作为基因载体应用于遗传工程。

【一基因一酶假说】基于生化遗传学研究得到的关于一种基因控制一种酶的合成（或活性）的假说。20 世纪 40 年代为美国学者比德尔和塔特姆所提出，其概念已被大量事实验证，同时，也作过较大的修改。目前，已被“一基因一多肽”假说所代替。一基因一

多肽即一种基因控制酶的一个片段（多肽链）的形成。许多酶由一条以上的多肽链组成，一次突变，通常只影响其中的一条多肽链，所以“一基因一多肽”假说比“一基因一酶”假说更为确切。

【基因文库】又称基因组文库。含有某种生物全部基因组的各种 DNA 顺序（DNA 顺序可能是一个基因或几个基因，也可能是不完整的基因片段）的克隆的总体。基因文库的建立，通常用特定的限制性内切酶，将某生物的 DNA 切成一个个片段，然后将这些片段随机地连接到特定的质粒或其他载体上，再将它们引入适当的宿主细胞中，通过细胞的增殖而形成各个片段的克隆。如果所制备的克隆可把该种生物的全部基因包括在内，就称这些克隆总体为该生物的基因文库。目前已建立或正在建立基因文库的生物有：大肠杆菌、酵母、果蝇、鸡、兔、小鼠，大豆和人等。基因文库的建立，使人们可以随意选择基因进行拼接和重组，这对分子遗传学的研究和基因工程的开展，提供了十分方便的条件。

【克隆】又称无性繁殖系。指由单一细胞或一个生物经细胞分裂得到的具有相同遗传型的一群细胞或一群生物。可以由一个细胞分裂产生的所有细胞株，也可以是由一株果树嫁接产生的所有果树。克隆的概念近年还推广到 DNA 分子：由一个 DNA 分子片段复制产生的、核苷酸顺序和功能完全相同的所有 DNA 分子，也是一个无性繁殖系。

【克隆羊】用克隆（无性繁殖）方法产生的羊。1997 年 2 月，英国爱丁堡罗斯林研究所的科学家们宣称，他们用克隆技术培养出了绵羊。他们从成年绵羊乳腺细胞中取出细胞核，注入到一个去核

的卵细胞里，后者在人工培养下分裂成细胞团。将细胞团移植到健康母羊的子宫内，经过怀孕，最后诞生出一只单亲绵羊。1993年，中国科学院发育生物学研究所的科学家们，用连续核移植的方法，已培育出单亲的山羊。上述这些绵羊和山羊，都可称为克隆羊。

群体遗传学

【孟德尔式群体】一群能互相交配并属于同一基因库的生物个体。遗传学上所指的群体，不是一些个体的简单集合，而是指那些能相互交配的个体的集合体。只有这样孟德尔所说的遗传因子，才能按一定的规律从一代传到下一代。因此，遗传学称这样的群体为孟德尔式群体。

【基因库】指在一定时期内，某一随机交配群体中所有个体所包含的全部基因的总和。当群体发生遗传漂变或由于外界影响，群体中的某些个体发生突变时，基因库会发生变化。研究群体中基因库中各种基因频率的分布和变化是群体遗传学的任务。地球上各类生物都蕴含着丰富的基因资源，是培育新物种的重要源泉。随着科学技术的发展，收集和保护各生物物种的基因已日益受到各国的重视。保护基因的主要方法有：（1）保护野生动、植物，设立自然保护区。（2）建立种子库，将各种植物的种子保存起来。（3）建立基因文库，即将某物种的基因片段用特定方法提取出来，并加以保存。

【基因型频率】一个孟德尔群体中，某基因型个体占有所有个体的比率。比如杂合体（Aa）随机交配后组成的群体（ $\frac{1}{4}AA$ 、 $\frac{2}{4}Aa$ 、 $\frac{1}{4}aa$ ）中 AA 或 aa 纯合基因型频率各为 0.25，Aa 杂合基因型频率为 0.50。

【基因频率】一个孟德尔群体中，某一基因占该座位基因总数的比率。比如杂合体（Aa）随机交配后组成的群体（ $\frac{1}{4}AA$ 、 $\frac{2}{4}Aa$ 、 $\frac{1}{4}aa$ ）中，A 或 a 基因的频率各为 0.50。

【哈迪-温伯格定律】1908 年分别由英国数学家哈迪和德国医生温伯格提出，内容为：在一个孟德尔式群体中，如果群体无限大，随机交配，无突变、迁移和选择发生，其基因频率和基因型频率从一代到另一代维持恒定，该群体为一遗传平衡群体。又称遗传平衡定律。它奠定了群体遗传学的基础。在自然界，严格说，符合遗传平衡定律的群体实际是不存在的，既不可能有无限大的群体，也不可能绝对不受自然选择影响的基因。自然界只有接近于遗传平衡的群体。群体中基因频率和基因型频率将受到自然（突变、选择等）和人为（人工控制下的引变、选择和杂交等）因素的影响，导致群体遗传平衡被打破，这是物种进化的原因和动植物育种的实际情况。但是，只要影响平衡的因素不继续存在，在随机交配以后，群体就可出现新的遗传平衡。

【遗传漂变】又称遗传取样误差、赖特氏效应或基因随机漂移。由于基因交流受到限制而导致基因频率的增减的现象。哈迪-温伯格

定律成立的条件是群体中的个体数量无限大，随机交配，无基因迁入，无突变、选择的发生；而实际上这些条件是不可能达到的，因而基因频率总是会发生变化的。当群体较小时，也就是基因库较小时，不可避免会产生相对的近亲交配，这甚至可能会导致某种基因的消失。有人认为，同种不同群体间的非适应性状（例如人的 ABO 血型）的差异，大概就是由于遗传漂变造成的。

【近交】又称同系交配或近亲交配。亲缘关系较近的个体间的交配。如自交、回交、同胞及姑（姨）表的婚配等。近交与远交无绝对界限，划分标准也不尽相同。自交是最极端的近交。动物中天然近交较少；植物中近交比较普遍，如小麦等自交作物。近交能增加纯合体比例，减少杂合体比例。育种中通过近交，并结合严格选择，淘汰隐性有害基因，可使品种优良且整齐一致；还可培育出优良的品系，如猪的育种中，用“以子配母”的近交方法育成了著名的“香猪”（早熟、脂肪型乳猪）；通过近交育出的玉米自交系，为杂种优势的利用奠定了基础。进行异体受精的生物，一旦自体受精（自交）或近交，后代一般生活力和可育性下降。人类群体的近亲结婚将增加隐性遗传疾病的发病率。

【近交系数】又称赖特氏近交系数。来自共同祖先的基因在后代相遇的概率，以 F 表示。近交系数可度量近交的遗传效应，表示基因座位上纯合频率的高、低。自交的 $F = \frac{1}{2}$ ；嫡亲兄妹的 $F = \frac{1}{4}$ ；嫡堂（表）兄妹的 $F = \frac{1}{16}$ ；堂（表）兄妹的 $F = \frac{1}{64}$ 。

【远交】又称远系交配或异系交配。亲缘关系较远（也可以说无亲

缘关系)的个体间的交配。不同属间、种间、地理上远缘亚种、变种间的交配均属之。远交与近交无绝对界限。远交增加杂合性,产生明显的杂种优势。植物的远缘杂交是亲缘关系更远的远交,由于双亲差异大,可产生更为深刻的变异,常有可能培育出极为优良的品种,这也是自然界形成新种的一种途径(异源多倍化)。远缘杂交往往出现杂交不孕或杂种不实,实践中已积累了一些克服的方法。

【选型交配】非随机交配的一种。以表现型为基础进行的交配。分为:(1)正选型交配。个体选择表型上与自己相似的个体交配,比如体型高的男人往往选择体型高的女人结婚就是人类中的一种正选型交配。(2)负选型交配。个体选择表型上与自己相异的个体交配,比如许多开花植物(亚麻科、报春科等)的短花柱长雄蕊类型与长花柱短雄蕊类型的交配为负选型交配。选型交配将干扰群体的基因型频率的平衡。

【远缘杂交】亲缘关系较远或基因型差异较大的生物体之间的杂交。包括种间、属间以至科间杂交。如驴和马交配生骡、小麦和黑麦杂交选育出小黑麦,都属于远缘杂交。远缘杂交由于亲本花期不遇,配子间不相适应,胚胎不能正常发育及杂种生殖系统紊乱等因素的影响,杂交不易成功,且杂种后代一般不育或结实率低。但远缘杂交能够将不同种属的优良性状结合在一起,培育出新的物种,因而受到人们的广泛重视。随着生物工程的发展,利用细胞融合、试管受精等方法,较好地克服了远缘杂交不易成功的困难。

【杂种优势】不同属间、种间或品种间杂种一代，在生长势、生活力、繁殖力、抗逆力、产量和品质上优于双亲的现象。在自然界杂种优势现象广泛存在。马和驴的种间杂种——骡（适应性强，不易生病，耐劳，耐粗饲料）是杂种优势的典型实例。杂种优势具有以下特点：（1）优势的表现往往不局限于一、二个单一性状上，而是表现在综合性状上。（2）优势的大小，取决于双亲的遗传差异，差异大，杂种优势大，相反优势小。（3）双亲基因型纯合程度，决定杂种优势的强弱，纯合程度高，杂种优势大，反之则弱。（4）杂种优势仅在杂种一代表现，杂种二代优势显著下降。杂种优势在渔业、畜牧业尤其农业上对增产有突出的作用。玉米的杂种优势应用最早，成绩显著。在高粱、小麦、菸草、甜菜、油菜、蕃茄等作物以及猪、牛、家禽、家蚕中，杂种优势也已广泛利用。水稻杂种优势的研究和利用，中国已走在世界最前列。对杂种优势机理的解释，目前主要有两种假说：（1）显性假说，认为父母本拥有许多有利的显性基因，杂交后综合在一起，掩盖了不利的隐性基因的作用，因而表现出杂种优势。（2）超显性假说（又称杂合假说），认为不同基因型亲本结合，可以增加等位基因间的相互作用，得出优于同类亲本结合的效应，从而表现出杂种优势。

【显性假说】解释杂种优势现象的一种假说。由美国学者琼斯提出。认为显性基因是有利基因，隐性基因是不利基因，许多显、隐性基因连锁在染色体上，异花受粉的植物和异体受精的动物，基因座位往往为杂合，自交或近交增加了纯合性，极端有害的隐性纯合体通过选择被淘汰，当经过选择的具有若干显性和隐性纯合座位的自交系杂交后，在杂种的每个座位上，显性基因均掩盖了隐性基因，不同座位的显性基因互补，发挥综合作用，导致了杂种

优势的产生。例如，自交系 $\frac{AbCd}{AbCd}$ 与自交系 $\frac{aBcD}{aBcD}$ 杂交，杂种一代 $\frac{AbCd}{aBcD}$ 定将优于双亲。显性基因一般编码有生物活性的蛋白质；隐性基因一般编码无活性或低活性的蛋白质， $AAbb$ 与 $aaBB$ 的杂交中，杂合体 $AaBb$ 生活力肯定高于 $AAbb$ 和 $aaBB$ ，这是显性学说的生化基础。显性假说曾被一些试验所证明，但它忽略了等位基因间的相互作用，所以还不够全面。

【杂合假说】又称超显性假说。解释杂种优势的一种假说。由美国沙尔和依斯特分别提出。该说认为：等位基因间不存在显隐性关系，每个基因座位上可能存在一系列复等位基因（ a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 ……），基因的杂合性是杂种优势的原因，杂合基因座位愈多，优势愈大；每对等位基因的差异愈大，优势也愈大。如上述四个基因的差异按顺序增大，杂合状态的优势按 $a_1a_2 < a_1a_3 < a_1a_4$ 的顺序递增。杂合说的生化基础，可能是由于不同的基因各自合成不同的生化活性物质（例如酶等），两种活性物质互补产生的表型效应肯定优于仅产生一种活性物质的双亲。不少试验证明了杂合学说的正确，例如控制玉米色素的基因，杂合时比纯合时色浓等。该学说排斥了显性基因的作用，仅强调不同的等位基因间的互作，也不够全面。

【获得性遗传】生物体在一生过程中因环境等因素影响所获得的新性状，在适合的生活条件下能遗传给后代。此概念最早由拉马克提出，后来由李森科标榜的所谓米丘林学说又发展了它，认为生物在生长过程中，环境的变化引起代谢类型的改变，这些改变了的性状能遗传给后代。大多数生物学者不同意此种观点，认为获

得性状的改变只是蛋白质的改变，不一定是遗传物质的改变，而只有遗传物质（主要是 DNA）发生了改变，才会遗传给后代。目前，尚无证据表明在高等生物中，这类改变会遗传，在低等生物（如原生动物或细菌）中，某些理、化因素诱导发生的改变之所以能够遗传，大概也是由于遗传物质发生了改变的缘故。

遗传缺陷的预防

【禁止近亲婚配】两个亲缘关系较近的人的相互婚配称近亲婚配。近亲婚配由于父母所携带基因的同源性，很可能使子代隐性基因纯合，会导致隐性遗传病的发病率增高。因此中国婚姻法规定：“直系血亲及三代以内旁系血亲者均禁止结婚。”直系血亲包括生育自己和自己生育的上下各代亲属；三代以内旁系血亲包括叔、伯、姨、姑、舅、兄、弟、姐、妹、堂（表）兄妹以及侄儿、侄女等。现在说禁止近亲婚配，主要是禁止表兄妹间的婚配，因为其他的近亲婚配实际上已很少见。

【遗传咨询】运用遗传学原理和人类已有的遗传学经验对某人后代可能具有遗传缺陷的危险程度，提出估计的一种医学服务。在提供遗传咨询时，要对遗传病或遗传异常现象作全面的临床估计，并要考虑其家族史。遗传咨询向遗传病患者及其家属、待婚青年及青年夫妇提供关于遗传方面的资料，回答治病、防病、婚姻、生育等方面的问题。发现可能产生有遗传缺陷的病儿时，就建议绝育或进行人工流产。这项工作的普遍开展，将会降低遗传病的发

生，提高人类素质。

遗 传 工 程

【遗传工程】根据遗传学的原理，采用类似工程设计的方法，对生物的遗传物质进行一定的技术操作，以便改造生物的遗传组成，使生物获得新的遗传性状的过程。据此，凡是有计划、有目的地改造生物遗传组成的各种途径，都属于遗传工程的范围。因此，广义的遗传工程包括细胞工程、染色体工程和基因工程。狭义的遗传工程专指基因工程。在广义的遗传工程中，基因工程是一个最重要、发展最快的领域，也是人类改造生物遗传性状最有效的技术操作。这是因为基因工程是在分子水平上、直接以控制性状遗传的基因作为操作对象，并且按照预先设计好的蓝图，在严密控制的条件下进行，较之细胞工程、染色体工程能更精确地定向改造生物的遗传组成，使之对人类利益服务。遗传工程不但是分子遗传学研究的重要手段，而且也为培育动植物和微生物新品种、大量生产有用产品和控制遗传性疾病开辟了广阔的前途。

【基因工程】采用现代生物化学技术（主要是酶学方法），将某种生物的基因 DNA 切割下来，转移到特定的运载体（如质粒）中，再将后者导入受体细胞内，使之进行复制、转录和转译，以生产出所需产品或具有新的遗传性状的过程。基因工程的操作可概括为三个步骤：（1）获得所需的“目的基因”。可从适当的材料中分

离提纯出“目的基因”（即 DNA 的特定片段）；或用酶促合成法，以 mRNA 为模板，用逆转录酶合成互补的 DNA，经复制后成为双链的 DNA；还可利用化学合成法，以单核苷酸为原料，经化学反应而合成“目的基因”。（2）使目的基因与运载体结合。由于外源 DNA 不能直接进入受体，故必需有合适的运载体。它既能与目的基因在体外进行 DNA 重组，又能把重组的 DNA 引入受体；并且能自我复制，因而使“目的基因”也同时复制。通常用的运载体是细菌的质粒和一些病毒。细菌质粒是分散在细胞质中的小型环状双链 DNA，可在细菌之间转移。常用的质粒有大肠杆菌素质粒 ColE₁、大肠杆菌抗四环素的质粒 pSC₁₀₁ 等；常用的病毒运载体有 λ 噬菌体和猿猴病毒 SV₄₀ 等。选定合适的运载体后，就可用合适的限制性内切酶分别切割“目的基因”DNA 和运载体 DNA，使它们具有互补的“粘性末端”。然后将它们混合、共热并缓慢冷却，它们的“粘性末端”就会相互配对，形成新的重组 DNA；再用连接酶加以处理，就成为新的 DNA 重组体。（3）目的基因的转入和表达。将含有“目的基因”的运载体转入到合适的受体细胞中，并使受体细胞大量增殖，然后用适当方法将含有目的基因的受体细胞筛选出来，再扩增成为无性繁殖系（克隆）。无性繁殖系的“目的基因”表达，就能合成出大量所需的产品。例如，1982 年英、美、西德等国已用这种方法生产出人的胰岛素；以后又相继生产出人的生长素、干扰素和抗口蹄疫疫苗等。此外，基因工程技术还广泛应用于农业，以改良生物品种。如 1986 年日本成功地将油菜的抗病基因转移到烟草细胞上，使后者长成的植株具有很强的抗病力；美国将仙人掌的基因移入小麦、玉米或大豆中，培育出耐旱的农作物等。中国科学家开展基因工程研究也取得了显著的成果，如已用基因工程方法生产出甲型干扰素；将黄瓜花叶病毒基因转入

西红柿中，获得了有抗病毒遗传特性的西红柿植株等。

【多聚酶链式反应技术】简称 PCR。是一种特异性 DNA 体外扩增技术。凡是涉及微量 DNA 的鉴定、检测及实验，均可采用 PCR 技术。它具有简便、快速、灵敏度高、特异性强、重复性好的优点。是分子生物学研究中业已推广的技术。PCR 的基本原理是：首先合成两个小片段的寡聚核苷酸引物，其长度一般为 20bp 左右，这两种引物分别与待扩增的 DNA 片段（模板）的正链和负链的两端互补。将引物片段与待扩增的 DNA 片段混合并加热变性，退火。这时引物片段与相应的 DNA 模板进行杂交，再加入 4 种脱氧核糖核苷三磷酸（dNTP）和 DNA 聚合酶进行 DNA 扩增。至此完成了 PCR 反应的第一轮循环。每一轮反应仅需几分钟。然后再加热变性和退火。第一轮反应得到的 DNA 扩增链又作为模板与引物片段杂交，进入第二轮扩增循环。由于引物和 dNTP 都是过量的，如果加入的 DNA 聚合酶是耐高温的，则在以后各轮反应中不需加入任何其它试剂，反应自动进行，一直达到所需要的数量为止。应用 PCR 技术在数小时（2—4）之内，即可使单个 DNA 分子扩增 10^6 倍以上，从而达到可用于检测或实验的用量。PCR 技术可应用于很多领域，如病毒感染的临床检测、癌症的临床检测、遗传病的早期诊断、胎儿性别的鉴定、司法鉴定、分子生物学研究等。因此，引起生命科学界的广泛注意，并在许多科研领域中得到推广和使用。PCR 技术的发明者马林斯认为：今后要从以下三方面（发现更好的 DNA 聚合酶，缩短 PCR 反应循环时间，消除反应中的抑制剂）对 PCR 加以改进。最近，美国某基因公司研制出了每一 PCR 循环周期仅需 30 秒的系统，反应在毛细管中进行，热转移发生极快。同时，发明者正在研制一种使 PCR 小型

化的分析系统以及快速从血液中提取 DNA 的方法。

【限制性片段长度多态性】 (restriction fragment length polymorphisms), 简称 RFLP。将基因组 DNA, 用已知的限制性内切酶进行消化, 把基因按照内切酶的位点切成若干片段, 先进行凝胶电泳, 将 DNA 片段分离, 然后在处于湿润环境的凝胶上放置一张硝酸纤维素膜, 再进行印迹转移电泳, 将凝胶上的分离区带转移到硝酸纤维素膜上, 最后用特定的放射性 DNA 作探针, 与固定在硝酸纤维素膜上的持异区带进行分子杂交, 通过放射性自显影的方法, 就能得到有 DNA 探针的多态性图谱。它可表现出基因组 DNA 中与探针同源的 DNA 序列, 经限制性内切酶消化后在长度上的差异。只要同源 DNA 序列上限制内切酶的位点不同, 或者由于某种原因使 DNA 发生点突变、重组、转换、插入、丢失, 都能引起限制内切酶的位点改变, 同时就有新的 RFLP 的产生和变异。因此, 不同性质的 DNA 克隆探针, 所能探测的 RFLP 的水平不同。利用 RFLP 技术, 可以分析、研究、判断品种间、种属间亲缘关系的远近及基因组的进化历史。也可以利用 RFLP 对血液、精液及其斑痕作出肯定的个人识别, 为侦破工作提供证据。RFLP 也被用于研究基因的组织结构、染色体特定区域的遗传、基因的表达调控、基因转移后的鉴定等。总之, RFLP 技术正得到越来越广泛的应用。

【蛋白质工程】利用基因工程的 DNA 重组技术, 把基因的 DNA 编码序列加以改变或用化学方法合成新基因, 或用突变方式对原有基因进行改造, 再把改造过的基因或人工合成基因, 通过载体在适合的宿主系统中加以表达, 从而改变蛋白质分子或创造出自然

界不存在的具有特定功能的全新蛋白质分子，使其更适合于人类的需要。通过蛋白质工程手段，可以研究蛋白质结构与功能的关系。实际上，蛋白质工程就是基因工程与蛋白质结构、功能研究互相融合的产物。目前，蛋白质工程包括四大类的研究：（1）利用已知蛋白质一级结构的信息作应用研究。这是蛋白质工程研究中最成功的方面。如利用蛋白质一级结构预测其三级结构或对其氨基酸侧链进行改造而获得新的性质。（2）从混杂变异体库中筛选和选择具有一定结构与功能关系的蛋白质。蛋白质的变异是蛋白质工程中最重要研究内容和手段。研究者可以有目的的选择变异体，然后研究其结构与功能的关系。如有人把对热不稳定的酶的基因移植到嗜热生物体内，然后筛选出对热稳定的酶，这样既保持着酶的原来性质，又增加了热稳定性。（3）定量地确定蛋白质结构与功能的关系。这是目前蛋白质工程研究的主体。这类研究，包括蛋白质的三级结构、配体的结合、酶的催化性质、蛋白质的折叠与稳定的关系等。（4）根据已知结构与功能关系的蛋白质，用人工方法合成它或其变异体，从而达到利用人工的方法来控制蛋白质性质的目的。蛋白质工程，把纯科学知识变为实际应用的科学。它被誉为第二代遗传工程技术。它的提出，使基因工程和生物工程更加绚丽多彩。

【转基因动物】体细胞或生殖细胞基因组中，含有以基因转移方法导入的外源基因的动物。基因转移包括实验前的各种准备工作；采用显微注射或病毒感染等手段，将外源基因导入受体细胞以及外源基因在受体细胞中的表达等。1979年，明茨等通过猿猴病毒₄₀（SV₄₀），将外源DNA导入小鼠早期胚胎的囊胚腔，得到了第一只含外源基因的嵌合体小鼠；1982年帕尔米特等将大鼠生长激素结

构基因导入小鼠受精卵，获得了比原来小鼠体积大两倍的“超级小鼠”，曾引起轰动；随后又有许多不同的转基因小鼠获得成功。不久，转基因技术在兔、绵羊、猪、牛等大型动物也相继取得了进展。转基因动物的获得，为改造动物品种开辟了被称为“分子育种”的新途径；还可用作培育巨型生物反应器，大量生产特种生物制剂；在医学上也为矫正遗传疾病展现了光明的前景。转基因动物还可用来研究基因在不同组织和不同发育阶段中的调控和表达，并对癌基因和免疫机理的研究起到推动作用。

【转基因植物】基因组中含有以基因转移方法导入的外源基因的植物。植物细胞具有全能性。较完善的植物组织培养技术及一系列转基因方法（如土壤农杆菌法、病毒感染法、大量及微量注射法、原生质体对外源基因的直接摄入等）的建立，为转基因植物的获得提供了可能。1986年比奇等首次将烟草花叶病毒（TMV）的外壳蛋白基因转移到烟草中，获得了抗TMV的烟草植株。此后，在改良作物品质、提高抗性（抗病毒、抗真菌、抗虫和抗除草剂等）的作物育种中，转基因植物的研究不断取得进展。中国在这方面的研究居领先地位，已用转基因方法培育出多种抗病植物；目前已有十多个省份种植了用烟草花叶病毒改造过的烟草。中国科学家的研究表明，把烟草花叶病毒和黄瓜花叶病毒膜蛋白基因移入两种烟草后进行培植，确能提高烟草的抗病毒能力。转基因植物的成功和发展，为促进农业生产开辟了广阔的道路。

生命起源 与生物进化

地球上的生命起源

【活力论】又称生机论。一种关于生命现象的本质的理论，从古希腊到 18 世纪盛行于欧洲。这一理论认为，生物体内有一种不受自然规律支配的非物质的力量（“活力”或“生命力”），控制和规定着生物的全部生命活动和特征，这是生物体与非生物体的本质区别。古希腊哲学家亚里士多德的“隐得来希”说是这一理论的基础。他把“活力”叫做“隐得来希（entelecheia）”，用以指支配生物体的非物质的、超自然的所谓“整体原则”。活力论是一种唯心主义观点，其近代的代表人物是比利时的赫耳蒙特、德国的斯塔尔和法国的比夏。现代新活力论的代表是法国的杜里舒。科学研究表明，生命的本质是物质的（以核酸和蛋白质为基础），是物质运动的高级形式。

【特创论】又称神创论。宗教家提出的一种与进化思想对立的生命起源观点。要点有：（1）地球及其生物都是上帝或神在一定时期内有目的地创造的；（2）物种被创造出来后就一成不变，或只能在种的范围内变化，不能形成新种。第二层意思也是“物种不变

论”的基本含义。直到 18 世纪，进化思想还不成体系，基督教支持的特创论占统治地位。它认为，上帝将世界万物创造出来，迄今只有几千年历史；整个世界静止不动，即使有变化，也只是季节更替、人的生死。在基督教的统治下，上帝的话是衡量一切事物的标准。《圣经》第一卷《创世记》是特创论的典型代表。1658 年，英国主教厄索尔根据《圣经》推算，上帝于公元前 4004 年 10 月 22 日下午 8 时完成了对世界的创造。根据《圣经》记载，上帝创造天地万物和人共用了六天时间；在最后审判日，世界又会突然走向尽头。达尔文进化论的形成和发展，打破了特创论对人类思想的禁锢。

【物种不变论】认为生物物种永恒不变的观点。达尔文进化论产生之前，这种观点和特创论结合起来，在生物学中占统治地位。它们认为，地球上的各种生物（包括人类在内）都是由上帝创造的；上帝当初创造多少物种，现在地球上就有多少物种，既不会增加，也不会减少。林奈就相信特创论和物种不变论。物种不变论是一种形而上学的世界观，严重束缚了人类思想的发展。1859 年达尔文出版的《物种起源》一书，奠定了以自然选择理论为核心的生物进化论的基础，给了特创论和物种不变论以沉重的打击。

【自生论】又称自然发生论、无生源说。一种关于生命发生的观点。起源于古代，亚里士多德和牛顿等都信奉这种见解。这一理论的要点是：生物是从非生命物质或另一些截然不同的物体直接转变成的。古代，人们从“腐肉生蛆”等现象中得出自然发生的结论。中国古代有“肉腐生蛆”、“鱼枯生蠹”（《荀子·劝学》）的说法。亚里士多德说：“有些植物由植物的种子生成，另一些植物则由类

似种子的某些原始物质要素自发生成；动物也是这样，有些父子相承，各从其类，而另一些则自发生成，不由亲属繁殖。后一类自发生成的，有些由腐土或腐殖质繁育出来，而另一些由动物体内各器官的分立物中繁育出来。”（亚里士多德，《动物志》，商务印书馆，1979。）1668年，意大利医生雷迪首次用实验证明腐肉中须经苍蝇产卵后才能生蛆，腐肉不能直接产生蛆。19世纪，法国化学家巴斯德用装在一种曲颈瓶中的酵母浸液做实验，证明自生论不能成立。进化论认为，在原始地球条件下，原始生命可从无机物质经过化学进化产生；但在现今条件下（氧化性大气，世界上已充满了生物和微生物），生命早已不可能从无机物自然发生。

【生生论】又称生源说或有生源说。一种与自生论对立的关于生命起源的理论。认为现有生物既不是上帝创造的，也不是自然发生的，只能由以往的生物繁殖、演化而来，即“物必有种”。1668年，意大利医生雷迪用实验证明腐肉不能自然产生蛆，必须经苍蝇产卵才能生蛆。1861年，法国化学家巴斯德用实验证明不受微生物侵染的酵母浸液不会变腐，并认为，即使结构简单的微生物也只能由亲代或孢子产生，从而确立了生生论。这种理论的积极作用在于反对自生论和特创论，但没有解决生命起源的问题，只能说明地球上有了生命体以后的事实。生命起源实际上是在原始地球条件下，通过自然发生的化学进化过程实现的。

【天外胚种论】又称宇宙胚种论。一种关于地球上生命起源的理论，19世纪末到20世纪初流行于欧洲。1907年，瑞典化学家阿列纽斯出版的《宇宙的形成》一书，系统地提出了这一理论，要点是：生命胚种遍布于宇宙间或存在于地球以外的星体上。它们以孢子

的形式，通过陨石或太阳光的的压力作用，不断地在新行星上定居。当它们落到地球上时，就发育出活跃的地球生命。现代科学成果表明，星际空间强烈的紫外线等射线能很快杀死细菌的孢子，所以，宇宙空间或其他星球上的生命孢子保存下来并来到地球上的可能性不大。另外，胚种论的出发点是生命永恒论，认为生命和非生命物质一样古老，永恒存在而没有起源问题，这是不科学的。

【生命起源】从非生命物质演变为原始生命的化学进化过程。大约在 35 亿年前的 10 多亿年间，无机小分子在原始地球条件下生成有机小分子，再聚合成蛋白质、核酸等有机大分子，进而形成多分子体系，最终演化出原始生命。生命起源的关键是原始生物膜和遗传密码的起源。原始生物膜可能由浓缩机制产生；密码起源有立体化学说和冻结说两种假说。一般认为，各种多分子体系在自然选择作用下，有利部分被保留，并逐渐发展出复制功能，最终形成生命。研究表明，某些天体上存在着能形成生命原料的有机分子；星际空间有氨基酸、嘧啶碱和长径达 10 光年的甲醛云。所以，地球之外的星体上亦有生命起源的可能，但目前尚未发现太阳系除地球外行星上有生命。由于现在地球上缺少能合成有机物的基本能源及还原性大气和原始海洋等环境条件，故生命起源已不再可能。

【化学进化论】关于生命出现之前的物质演化（由非生命物质到原始生命）过程的学说。由前苏联生物化学家奥巴林提出。化学进化广义上指，宇宙起源进程中有关元素诞生、分子出现、直到原始细胞产生的过程；狭义上指，大约在 35 亿年前的 10 多亿年间，地球上经历以下四个阶段产生原始生命的过程：（1）无机物生成

有机小分子。地壳形成初期，频繁的火山喷发产生原始大气，成分有氨、硫化氢、氢、二氧化碳和水蒸汽等无机小分子，以及由它们相互作用生成的甲烷等有机小分子。原始大气成分的相互作用还生成烃类、含氮有机物等。(2) 有机小分子生成生物大分子。在放电等能源作用下，原始大气中产生醛、氰化氢、氨基腈等，进而生成氨基酸；甲醛、石灰、氨、氰化物、磷酸盐等在加热和紫外线等作用下，可生成核苷酸类化合物。能产生大量自由能的卟啉类和 ATP 也都在模拟前生物条件下合成，它们能促使氨基酸和核苷酸在原海洋条件下分别聚合成蛋白质和核酸。(3) 生物大分子生成多分子体系。这一过程可能由团聚体作用、蒸发作用、冰冻作用、微球体作用和吸附作用等浓缩机制实现。多分子体系可能有能吸收养分、排除“废物”的边界。(4) 多分子体系演化为原始生命。这是生命起源的决定性步骤。由于通过边界不断与环境进行的物质交换和内部大分子的相互作用，多分子体系可能发展为具代谢和繁殖能力的原始生命。米勒模拟实验、奥巴林的团聚体模型和福克斯的微球体模型研究，是化学进化研究的成功尝试。但由多分子体系产生原始生命的过程目前还未能在实验室内模拟。

【原始地球条件】原始地球上适合于生命的化学进化的基本条件。主要有：(1) 原始大气。最初的地壳较为薄弱，火山活动频繁，地球内部物质分解，产生大量气体。还原性是原始大气的突出特征。具有生物学意义的有机物，当时只有在还原性条件下才能合成。在雷电、辐射能和热能等作用下，大气中产生的有机分子也是原始大气的成分。原始大气是生命起源的最初“舞台”。(2) 能源。原始地球上能合成有机物的能源：1. 热能：地球凝聚和气体逸散时

所释放的巨大热量；2. 太阳能：由于当时没有臭氧层阻挡，到达地面的太阳能比现在多得多，大量的紫外线、可见光、电子、质子和 X 射线等参与了化学演化过程。3. 空中雷电和火山活动中所产生的能量。此外，宇宙射线、放射线、陨石冲击波等能量均可促进化学进化。（3）原始海洋。地壳变动产生高原、山峰和低地、山谷；当地表温度降至 100°C 以下时，地球上的水蒸汽液化，形成雨水，在低凹处蓄积成原始海洋。原始海洋一旦形成，就成了生命化学演化的“摇篮”。

【原始海洋】地球形成初期的海洋，是生命起源的“摇篮”。最初 5 亿年中，地表水量大约只有现在的 10%。随着地壳不断变动，有些地方隆起成高原、山峰，有些地方下陷成低地、山谷。火山喷发的同时不断释放能量，地表降温。当地面温度低于 100°C 时，原始大气中的水蒸汽液化，形成雨水，在低凹处逐渐汇成原始海洋。在气相中生成的活性有机分子能在水相中发生一系列化学反应。一旦雨水把原始大气生成的物质溶解汇集于原始海洋，化学进化的中心就由原始大气转移到原始海洋。在原始海洋中，有机小分子生成生物大分子，再聚集成多分子体系，直到原始生命诞生。

【多分子体系】地球上前生命演化（化学进化）过程中的一种物质形态。多分子体系的形成是前生命演化的重要环节之一。在热能、放电等作用下，原始大气中的无机小分子形成有机小分子，经雨水冲淋汇集到原始海洋中，依赖于高能化合物，形成核酸和蛋白质等生物大分子。研究表明，原始海洋中含盐量少，温度较适于核酸、蛋白质、多糖、类脂等生物大分子存在，有机物总含量大约在 1% 以上。生物大分子通过以下可能的浓缩机制形成多分子

体系：(1) 蛋白质与蛋白质、蛋白质与核酸或蛋白质与多糖等相互作用形成“团聚体”或“微球体”形式的多分子体系。(2) 蒸发作用，生物大分子因海洋、湖泊的水分蒸发而浓缩。(3) 冰冻作用，结冰可使溶液变浓；(4) 吸附作用，海底、海岸的某些特殊粘土可作为无机模板吸附有机分子使之聚合成生物大分子，后者溶于水而形成多分子体系。奥巴林的“团聚体”和福克斯的“微球体”是在实验室内形成的多分子体系模型，对研究生命起源有一定价值。

【米勒模拟实验】研究生命起源过程的实验。1953 年美国科学家米勒设计了封闭的玻璃管道装置，抽真空后泵入还原性气体 H_2 、 NH_3 、 CH_4 等，以沸水产生的水蒸汽驱动混合气体在管道内循环，并在其中进行一周火花放电，结果产生出 20 种有机物，其中甘氨酸、丙氨酸、谷氨酸和门冬氨酸等 4 种氨基酸是生物体内蛋白质的成分。此后，许多研究者利用不同能源进行了类似的模拟实验，亦能得到类似的结果。现在天然蛋白质中的 20 种氨基酸几乎都能用模拟实验方法合成出来。但近年不少学者对地球原始大气是否由 CH_4 、 NH_3 组成，已提出了怀疑。

【团聚体模型】一种在实验室内人工地从有机物形成的多分子体系的模型。由苏联生物化学家奥巴林提出。20 世纪 50 年代末，奥巴林等将白明胶（蛋白质）的水溶液和阿拉伯胶（多糖）的水溶液加以混合，并在光学显微镜下观察，发现形成的浊液中有许多小滴，他称为团聚体。适当配制的团聚体（如以组蛋白、阿拉伯胶、磷酸化酶和淀粉酶形成的团聚体）就具有合成、分解、“生长”和分裂等类似生命的现象。例如：在配制液中加入葡萄糖-1-磷酸，就

能被磷酸化酶合成为淀粉，并放出磷酸根；随后团聚体中的淀粉酶又可把淀粉分解为麦芽糖排出。当合成速度大于分解速度时，团聚体会增大（“生长”）；增大到一定程度就会分裂（“繁殖”）。以团聚体作为模型进行研究，是探讨生命起源的重要尝试。

【微球体模型】一种在实验室内人工地从有机物形成的多分子体系的模型。由美国科学家福克斯提出。他将各种氨基酸的混合物在 $140—180^{\circ}\text{C}$ 的温度下保持数小时，就生成一些具蛋白质特性的物质（类蛋白）。类蛋白水溶液温度降低到 0°C 左右，或使酸性类蛋白在稀盐溶液中冷却，就会出现大量的微小颗粒，在光学显微镜下观察，可见它们是一些直径在 $5\times 10^{-7}—3\times 10^{-6}\text{m}$ 的双层膜球状体，他称之为微球体。微球体有群聚倾向，在高渗溶液中收缩，在低渗溶液中膨胀；能象细菌那样，成为革兰氏染色的阴性或阳性；能分裂和出芽（芽长大后可脱落）；还能表现出多种微弱的类酶活性。由于微球体可在类似原始地球条件下由非酶促合成的类蛋白产生，又比较稳定，所以被认为是从多分子体系向原始细胞发展的理想模型。

【裸基因说】一种关于原始生命起源的学说，认为最早的生命类型可能类似于病毒。20 世纪 70 年代发现类病毒后，这一学说进一步认为，最早的生命可能是一个裸露的 RNA 分子，即裸基因；裸基因获得蛋白质外壳后，便可自动组装成最简单的 RNA 病毒。原始 RNA 病毒通过逆转录进化为 DNA 病毒。随着核酸分子量及所含基因数目的不断增加，外壳蛋白质种类也增加，以后类脂和多糖也成为外壳的组分，病毒的体积也随之增大，经立克次氏体等形态，演化为原核细胞。由于已知的病毒都必须在一定的细胞内

生活，特别是许多病毒可以从溶原状态构成染色体 DNA 的一个片段，大多数生物学家否定这一学说，认为病毒是脱离了遗传体系的裸基因，不是生命的原始类型。

【原始生命体】简称原生体。生命起源的最后阶段。由有机多分子体系形成的非细胞形态的生命体。它的重要标志是具有初步的新陈代谢和自我繁殖的特性。生物膜对于内外物质交换、能量传递、信息流通和刺激传导等生命现象具有重要作用。从一般的多分子体系演变为原始生命体，关键之一是原始膜（界膜）演变为生物膜，而遗传密码的起源也是生命体最终产生的又一重要因素。原始生命体的出现，标志着化学进化开始转化为生物进化。

生物进化的证据

【化石】保存在岩层中的地质历史时期（距今 38 亿年至 1 万年之间）生物遗体和遗迹，是古生物研究的唯一对象。根据这一划分原则，许多现在生存的动植物，是一万年前就已出现的。因此古生物与今生物的划分是人为的。被保存为化石的多为生物体的硬的部分，如骨骼、贝壳、牙齿和植物的茎、叶、孢子、花粉等。生物死亡后，未被破坏掉的部分，被较迅速地埋藏于水下与氧隔绝，经过石化作用而形成化石。化石有实体化石、模铸化石、遗迹化石和化学化石四种。实体化石中最珍贵的是未变实体化石，它们保存了生物体的软组织，如北极圈冻土层或冰层中的猛犸象化石，其肉还可供食肉动物充饥；再如琥珀中的昆虫、沥青坑或古

沙漠中木乃伊化的恐龙、犀和大懒兽等。较多的是微变硬体化石，包括贝壳、牙齿等，它们保留了生物硬体的绝大部分特征和组成物质。可能仅失去水分、有机质、挥发成分、色泽及光泽等，主要是原来硬体部分的碳酸钙质的文石，由温度、压力的变化，从斜方晶系变为三方晶系的方解石，其化学成分不变，原来的生物结构不变，只是矿物颗粒的晶体结构发生变化。实体化石中变化较大的是在石化作用下形成的石化化石。其中包括在生物硬体组织孔隙中充填了矿物质（矿质充填或过矿化作用）形成的化石，如骨骼和珊瑚等；炭化或升馏作用常使生物硬体中其他部分挥发，仅保留碳质薄膜，如植物叶、昆虫翅，或部分琥珀昆虫中的整只昆虫的碳化膜，此外，还有笔石化石等；地下水携带的矿物质与化石硬壳中的矿物质在分子间进行置换（取代作用）而形成的化石，如硅化木、黄铁矿化或赤铁矿化的化石等。模铸化石则是原生物体已荡然无存，仅在原物所留的印痕中产生的化石，反映化石背、腹面外部形态或贝壳外表面及内表面形态的化石，又分为外模、内模、外核、内核及复合模等，模只能反映表面形态，核可反映其立体轮廓，复合模则可同时反映内外表面的特征于一个面上。遗迹化石包括生物生活所造成的栖息、爬行、觅食、捕食、居住等痕迹。还包括粪便、胃石、卵和植物根或附生、生物的种种痕迹和伤痕等。遗迹化石对判断环境等作用较大，亦可用于地层对比，但与生物分类尚无联系。化学化石指残留在地层中的各种有机物质，如氨基酸、嘌呤、蛋白质等。化学化石与生物分类的联系比遗迹化石更为困难。化石可用于地层的划分对比（标准化石或带化石）和判别环境（指相化石），大型化石可用于陈列。脱离原生地层而再沉积于较晚地层中的次生化石不能起这样的作用。此外，有一些死亡年代虽然已久，但尚不足 10000 年，也未被石化，被

称为亚化石，如河南安阳殷墟中发现的动物骨骼和龟甲等。还有一些是岩层形成时产生的一些构造，如叠锥、缝合线……等常被误认为化石；另外携有铁锰氧化物成分的水渗入岩层层面或节理面上常可形成柏树枝状的树枝石，也常被误认为化石。

化石是经受石化作用而保留于地层中的古代生物的遗体 and 遗迹，是自然产物，不论其形成或保存均不受人的力量所左右。历史文物是具有历史价值、艺术价值和财务金融价值的古代遗物，是人类自身及其社会活动的产物，绝大部分经过人为的有意识的加工，俗称古物、古玩，是人类创造的物质财富和一部分精神财富（如古籍、碑刻、书画等）。

【活化石】人们对一些结构构造上保留着较原始特征的少数古老物种的泛称。不是一个科学名词，由达尔文最早使用于描述东亚的银杏。现在人们多认为活化石应有下述条件：（1）在解剖上真正与某一古老物种极相似，但并不限于完全相同或即是该物种；（2）这一古老物种，至少已有近千万年甚至亿年以上历史，在其所经历的漫长地质历史时期中保留着诸多原始特征而未发生较大改变（进化缓慢型生物）；（3）这一类群的现生成员由一个或很少几个种为代表；（4）它们的分布范围较为局限。进化缓慢型生物成种率极低，对食物及生境的物理化学条件的波动适应性极强，常在几百万年间无变化，相反与其有一定亲缘关系的新生种类在同一环境下却可能不具备竞争能力。目前公认的活化石，首推银杏，其次为水杉等中生代以来留存的植物。此外，如莲座蕨、双扇蕨、马通蕨、苏铁、南洋杉、红杉、水松、柳杉及剑韭等还有很多。植物中有 5000 万年以上历史的还有台湾杉、银杉、鹅掌楸、领春木、珙桐等。动物中的活化石为人熟知的有矛尾鱼、澳洲肺鱼、雀鳢、

六鳃鲨，两栖类中如滑蹠蟾，爬行类中有楔齿蜥（喙头蜥）、拟毒蜥、钝吻鳄（扬子鳄），鸟类中有无翼鸟（几维），兽类中有鸭嘴兽、负鼠、树鼩、马岛灵猫、獭、双角犀等。无脊椎动物中有著名的舌形贝（腕足动物）、新笠板贝（无板纲）、鹦鹉螺（头足纲）、栗蛤（双壳纲）、鲎（节肢动物）、宽腕海盘车（海星纲）和新海百合（海百合纲）等。过去活化石一词被随意使用，已产生一定的混乱，尤其是将子遗与活化石混淆起来。活化石首先要具备身体结构原始和历经较长地质时期而未发生变化。据此，鲎、鹦鹉螺、舌形贝等均为活化石。大熊猫虽然身体结构等长期未变，但只有 500 万年左右历史；四不像则生命史既短、又无独特的原始的身体结构，均不属活化石之例。反而扬子鳄却因其结构原始且已有约 2000 万年的生命史而被视为活化石。随着研究工作的深入，活化石的概念将逐步澄清，也将会有更科学的判别标准。

【子遗】无明确科学定义的通俗名词。地史时期曾繁盛一时且广泛分布的某种动物或植物，当其繁盛期后（或被认为已绝灭后），仍有少量存活于现代（或较新地层中），称为子遗。常被人们与活化石混淆。例如中国著名的大熊猫和四不像（麋鹿），都属子遗动物。三叠纪地层中发现的极少量三叶虫也属子遗。主要判断标准为：活化石要有较长的地质历史和原始的未发生很大变化的身体结构。子遗和活化石二者无必然的联系。绝不是子遗均属活化石。

【叠层石】由蓝绿藻大量繁殖而形成的生物沉积结构。通常为黑白相间的碳酸钙薄层组成的各种形态的礁状体。黑色层富含有机质，是蓝绿藻细胞的复杂组合，白色层则由被藻类所粘结的碳酸盐微粒组成。叠层石是最早出现于地球上的生物化石之一，见于澳大

利亚西部距今 35 亿年前的地层中,至晚远古代(距今 10 亿至 6 亿年)最为繁盛,至中奥陶世(距今 4.7 亿年前)后开始衰落。现代在澳大利亚西部的鲨鱼湾和中美洲巴哈马群岛等地仍在继续形成。叠层石可生长在很广泛的区域,包括海滨潮间带至潮下带,甚至可生活在淡水中。叠层石有柱状、球状、层状、层柱状等组合形态。柱状叠层石的形态随时间而作有规律的变化,可作为划分晚远古代地层的标志。一些花纹美丽的叠层石可作建筑石材。一些地质学家认为叠层石的大量出现与地球大气圈中氧的聚集有很大作用。而含氧大气是地球的生物界发生和发展的最基本要素之一。因此在理论上也有很大意义。有些书籍中将叠层石音译为“斯特罗玛特莱特”。

【疑源类】分类位置及亲缘关系不明的微体化石。形态结构不一,多辐射对称。从十余微米到数百微米,以 100 微米左右者为多。具中央腔,外包一层或数层有机质壁。表面光滑或具纹饰,或有刺状突起。最早出现于前寒武纪并一直延续到现代,但古生代极为繁盛,尤其是奥陶纪、志留纪和泥盆纪。晚古生代衰退,中生代及新生代种类显著减少,但在非海相沉积物中也已发现。估计是一些单细胞藻类。绝大多数为飘浮类型,常与植物孢子、花粉共同发现。对划分对比地层有较重要意义。

【牙形石】又称牙形刺。磷酸钙质具各样尖具的微体化石。分类位置未定,系某种动物身体中的一部分。其说不一,例如鱼牙、虫颚或牙索动物(一种假设的动物)、触手环动物的咀嚼器等。约 0.1—4 毫米。有单锥形、复合形、平台型等。发现于寒武纪至三叠纪海相地层中,是划分对比地层的较好的标准。曾发现规则排

列，不同类型牙形石组合成的自然集群。

【小壳化石】寒武纪早期海生带壳小动物化石的通称。包括分类位置清楚的单板纲、双壳纲、软舌螺类、腹足纲、喙壳纲软体动物和腕足动物、海绵动物、锥石类以及节肢动物的壳，还包括一些形态特殊，分类位置不明的球状、管状、刺状和形状各异的骨针状、骨片状化石。其数量多、分布广，加之寒武纪早期其他化石较少，因而对划分对比地层有较大作用。在伊迪卡拉动物群之后，突然大量出现，在形态上又与以后大量出现的一些生物门类相近，因而对后生动物的发生发展很有意义。比其更晚些则有澄江动物群发现。

【孢子花粉分析】简称孢粉分析。通过对地质时代或现代沉积物或地层中所含孢子花粉的形态及分类的研究，为地质地层学、古地理学、考古学、医学、农业等方面服务的一种技术方法。又称孢粉学。参见第七卷孢粉学。

【钙质超微化石】大小在 1—35 微米的碳酸钙质化石的通称。简称超微化石。主要为颗石藻类所产生的颗石，也包括分类位置未定的微锥石（白垩纪）和盘星石（第三纪）化石。钙质超微化石形态多样，颗石类以椭圆盘形及其组合形态为主，也有呈圆形、螺旋形、篮形、棒形和长菱形等。非颗石类钙质超微化石有正边形、马蹄形、星形、楔形和中空球形等。钙质超微化石可靠的记录见于侏罗纪，古生代及三叠纪亦曾有零星报道。因其个体小、演化迅速、分布广泛，常为深海沉积物研究的主要对象，用于划分对比地层。

【伊迪卡拉动物群】最古老的具软躯体印痕的后生动物群。化石产于澳大利亚南部伊迪卡拉山区前寒武纪晚期（距今约 6.75 亿年）的庞德砂岩中。已发现化石 2000 多件，其中腔肠动物化石占 67%，环节动物化石占 25%，另有一些形状构造特殊，而分类地位尚难确定。这一动物群的最大特点在于其尚未产生硬壳，其次为一些更高等类群动物如节肢动物等尚未出现。动物群中较多的是水母状动物，还有原始锥石类、水螅类和身体多节的环节动物，一些类似棘皮动物的化石缺少后期棘皮动物特具的钙质骨板。估计它们当时生活在近岸浅海中（水深 6—7 米），由于动物死亡时波浪及水流强度弱，动物软体被细粒沉积物掩埋，才使软体印痕被保留下来。由于动物群的成分及特征与稍后寒武纪出现的动物群的差别使其在生物进化史中具有重要意义。类似动物群已在许多地区发现，如西南非洲、西伯利亚、英格兰等。中国也曾报道类似发现，但意见尚不一致。

【布尔基司动物群】保存于中寒武统布尔基司页岩中的具软躯体印痕的古老动物群。化石地点在加拿大不列颠哥伦比亚南部的菲尔德峰和瓦普塔峰西坡。自 1910 年发现该动物群后已采集到 5 万余件精美标本。动物群中三叶虫占 10%，其他节肢动物占约 27%，蠕虫约占 10%，海绵占 25%，其他尚有软体动物、腕足动物、腔肠动物和棘皮动物、脊索动物等。这些动物化石除硬壳外，还能大量保存其软躯体的印痕，如体壁、附肢等。重要一点在于动物群中一部分成员可以根据其外表特征能和化石的或现在的某类动物相联系而提供其系统位置和进化关系的线索；另一部分则形体极为怪异，无法和已知的现生或化石动物联系，似乎代表生物进化中被自然选择作用所淘汰的“不适应环境者”或“不利于生存的变异的实验品”。对这一动物群的研究仍在继续。近年在中国贵州台江县凯里组发现的“凯里动物群”的性质与布尔基司动物群接近。

【澄江动物群】早寒武世古老动物群。1984 年发现于中国云南澄江县距今约 5.7 亿年前的早寒武世早中期地层中。化石门类众多,种类多样,相当一部分化石保存了动物软躯体印痕,可以显示相当多的动物不同器官的形态特征。澄江动物群的出现晚于伊迪卡拉动物群(距今 6.75 亿年),早于加拿大的布尔基司动物群(距今约 5.2 亿年)。动物群中有带壳的三叶虫、其他节肢动物和具双瓣壳的软体动物等。澄江动物群中有海绵、水母、蠕虫、腕足动物和多种节肢动物,还有一些分类位置不明的动物。它的总体特征与布尔基司动物群更为接近。澄江动物群化石已有 3000 余件,详细研究工作还在进行中,一些奇形怪状的化石已被发现。寒武纪动物群的研究一直被古生物学家所瞩目,澄江动物群的发现引起国际古生物界的重视。

澄江动物群化石代表复原图

【同源器官】比较解剖学概念。起源相同,构造和部位相似,但形态和功能不同的器官。最典型的例子是脊椎动物的四肢。如鸟的

羽翼、蝙蝠的膜翅、鲸的前鳍、马的前肢和人的上肢，都是同源器官。它们都有前肢的相似部位和基本结构，但形态迥异，分别适于飞翔、游泳、奔跑和举握等功能。在植物中，皂荚的枝刺、洋葱的鳞茎和马铃薯的块茎等，都是茎变态而成的同源器官。同源器官来源于相同的祖先，是适应于不同的环境，演变分化出相应的形态和功能的结果。一般说来，不同生物的同源器官越多，相似程度就越大，亲缘关系也越近。同源器官的普遍存在，为生物进化提供了证据。

【同功器官】比较解剖学概念。形态和功能相似，起源和结构不同的器官。存在于不同种类的生物中。例如，昆虫、鸟和蝙蝠的翅，都用于飞翔（形态、功能相似），但昆虫的翅由胸板、侧板变化而来，而鸟和蝙蝠的翅由前肢演变而来（起源和结构不同），属同功器官。甘薯的块根和马铃薯的块茎，形态相似且都适于贮藏营养，但分别来源于根和茎，也是同功器官。不同生物的同功器官分别来自不同的祖先，是适应于相似的生活方式，发展出相似的形态和功能的结果。有些器官既同功，又同源，如鸟的翅和蝙蝠的翅。同功器官的研究，是运用比较解剖学追溯生物进化中的相互关系的重要方法。

【痕迹器官】在生物体内没有作用或作用不大，但仍然存在的器官。是比较解剖学概念。存在于各类生物中。例如，鲸已无陆上行走功能，但体内还保留着后肢骨的痕迹。人类的痕迹器官有瞬膜、动耳肌、尖形犬牙、男性乳房、腹直肌、阑尾和尾椎等。仙人掌极为退化的叶，小麦和水稻的花被退化为内稃和浆片，也是痕迹器官。痕迹器官是由于生物适应新的生活条件，一些器官退化了但

没有完全消失，由于遗传力量而被保留下来的器官原有状态的结果。通过生物的痕迹器官，可以追溯它们同其他生物的亲缘关系和物种形成的历程。例如，鲸的后肢骨痕迹，说明它是从陆生脊椎动物演化而来的。

【返祖现象】又称返祖遗传。某些祖先的性状隔了若干代之后又重新在后代中出现（不一定完全相同）的遗传现象。这些性状往往由隐性基因或互补基因控制。对于两个或更多基因所控制的性状，是由于在物种形成历史时期已经分开的、产生这个特性所必需的基因的重新结合。例如，双翅目昆虫（果蝇等）偶然出现两对翅的个体，杂种鸽出现野鸽性状，家猪身上出现野猪的毛色等。中国辽宁等地多次发现的“毛孩”，也是一种返祖现象。有人根据返祖现象认为，进化的不可逆规律是相对的。但是，在生物进化过程中返祖现象不是主流，进化基本上是不可逆的过程。

【贝尔定律】又称贝尔法则。俄国的胚胎学家贝尔发现的脊椎动物胚胎发育规律。贝尔在 1828 年出版的《动物的发育》一书中总结了胚胎学研究成果。他发现，不同纲脊椎动物的胚胎，早期发育阶段都极为相似，存在着从同源的一般性状向异源的特殊性状的渐变。这一定律的要点是：（1）胚胎发育中，较大类群（如门）的共同性状（脊索、鳃裂等）先出现，特殊性状后出现。（2）从最共同的性状发展出较不同的性状，最后才出现专门性状（如种的性状）。（3）不同纲动物的胚胎发育先经历相似阶段，再逐渐发生分歧。（4）高等动物胚胎发育经历着低等动物胚胎发育的阶段。简言之，在胚胎发育中先出现门的性状，再相继出现纲、目、科、属、种的性状，最后才是个体的性状；分类上亲缘关系越近，胚胎越

相似。贝尔定律说明，个体发育的渐进性是系统发育渐进性的反映，为生物进化论奠定了胚胎学基础。

【重演律】又称生物发生律。德国博物学家海克尔提出的关于个体发育和系统发育的关系的定律。大意是，生物在个体发育过程中，重现其祖先的主要发育阶段。个体发育，一般指多细胞生物体从受精卵开始到成体为止的发育过程，包括细胞分裂、组织分化、器官形成，直到性成熟。海克尔指的个体发育，主要是胚胎发育，即自受精卵至个体出生的发育过程；系统发育，指生物种族发展史，即一个类群或整个生物界的起源和演化过程。海克尔在 1866 年出版的《普通形态学》中强调：“个体发育史是系统发育史的简单而迅速的重演。”例如，人的胚胎发育依次重现了单细胞生物（受精卵）、单细胞生物群体（囊胚）、两胚层生物（原肠胚）和鱼类（有鳃裂和尾）等的特征。当然，个体发育并不是完全重演系统发育，而是简单重现。根据重演律，生物的亲缘关系越近，其胚胎发育的相似阶段越长；亲缘关系越远，相似阶段越短。重演律从胚胎发育方面论证了生物进化。

生物进化的历程

【原始细胞起源】从非细胞形态生命到细胞形态生命的发展过程。由原始界膜向细胞膜过渡，是原始生命发展的首要环节。1970 年，莱宁格提出，原始海洋水面漂浮的磷脂类化合物，在风和表面张力的作用下，可形成具单层磷脂膜的小滴（带上一些蛋白质等有

机物)，脱离水面。由于重力和惯性作用，小滴下落时与水面上的磷脂层结合，形成具双层磷脂的膜。小滴表面和内部的蛋白质发生移动后，就可形成外周蛋白和内嵌蛋白。另一假说认为，原始海洋中由蛋白质、核酸和脂类等形成的小滴，起初是无规则的结构，经过一再重排，就可能形成脂双层的原始生物膜。现代研究较多的脂质体，就是由磷脂水溶液经过超声波处理而形成的由磷脂双分子层包围一个含水小室的结构，通过置换就可能将蛋白质包于其中。人们认为，根据原始海洋的条件，应较容易形成脂质体，再嵌入糖蛋白等功能蛋白质，就可能产生出原始细胞膜。原始细胞膜的形成标志着原始细胞的诞生。在细胞膜起源和演化的过程中，伴随着遗传系统和细胞内其他结构的形成和完善。

【真核细胞起源】生物进化中由前原核细胞发展到真核细胞的过程。代表学说是马古利斯于 1971 年提出的内共生说。她认为，约 10 多亿年前，一些大型原核细胞，先后吞并了几种原核细胞（细菌、蓝藻等），而没有将其分解消化，使之从寄生过渡到共生，成为宿主细胞内的细胞器（如好氧细菌成为线粒体，蓝藻成为叶绿体）。这种共生发展的结果形成了真核细胞。1974 年，尤泽尔等提出经典说（内陷说），认为原始的原核细胞，通过一系列 DNA 的复制和质膜的内陷，形成了双层膜结构，再经过分化（如膜系统向内扩张、褶皱，形成脱离膜的细胞器）而形成了真核细胞。现代的科学事实表明，内共生说关于线粒体和叶绿体起源的观点比较合理。真核细胞的起源过程以大量的膜褶皱活动为标志，伴随着共生物与宿主的遗传物质的交换和细胞内的分室化（功能分化）。真核细胞的起源，奠定了有性生殖的基础，推动了动、植物的分化和动物、植物、菌类三极生态系统的形成。

【内共生学说】关于真核细胞是由原核生物共生起源的理论。1971年，由美国女生物学家马古利斯提出，其要点是：大约 10 多亿年前，细菌、蓝藻等几种原核细胞先后被摄入一些大型有吞噬能力的原核细胞内，但没有被分解消化，逐渐从寄生过渡到共生，成为宿主细胞的细胞器。好氧细菌演化成线粒体，蓝藻演化成叶绿体。如果吞噬细胞与原核螺旋体联合，则产生具鞭毛的原生动物祖先。这一学说至少有以下证据：（1）线粒体、叶绿体大小似细菌和蓝藻。（2）线粒体和叶绿体的外膜似真核细胞的生物膜，而内膜系统似细菌、蓝藻的细胞膜，内外膜之间有液体。（3）线粒体和叶绿体有自己的 DNA 和独立的蛋白质合成体系，遗传密码与核 DNA 的有差别。（4）线粒体和叶绿体对抗生素的反应与原核细胞相似。这一学说关于线粒体和叶绿体起源的论点，已基本得到公认，成为真核细胞起源的代表学说。缺点是它没有说明细胞核的起源，螺旋体被摄入后如何变为有“9+2”结构的鞭毛亦未说明。

【细胞演化】从原始细胞到真核细胞的演变。化石记录表明，原始细菌（原始细胞）产生于 30 亿年以前，真核生物出现于 10 亿年以前。从原始细胞到真核细胞，历经蓝藻（原核生物）的出现和繁盛。原核细胞与真核细胞相比，具有许多原始性，比如，原核细胞一般只有 $1\text{--}10\mu\text{m}$ 大小，遗传物质是裸露 DNA，分裂方式是直接分裂，一般没有有性过程；真核细胞一般是 $10\text{--}100\mu\text{m}$ 大小，具复杂的染色体结构，分裂方式是有丝分裂，一般有有性过程。因此，经典学说认为原始生命体的演化产生原始细胞；细胞的演化分两步，先由原始细胞演化为原核细胞（以细胞质分化、原始染

染色体形成标志),再由原核细胞演化为真核细胞(以细胞核和细胞器形成标志)。由于兼有原核细胞和真核细胞特征的古细菌的发现,美国微生物学家沃伊斯提出细胞演化的三个原始种系假说。他认为,化学进化结束后,先由原始生命体产生了原细胞,再由原细胞发展为古细菌、真细菌(原核细胞)和前真核细胞。根据内共生说,前真核细胞与好氧菌、蓝细菌和螺旋体等共生发展,形成具有线粒体、叶绿体和鞭毛等细胞器及细胞附属结构的真核细胞。真核细胞的产生加速了生物进化过程。

【植物进化历程】由动、植物的共同祖先逐渐演变为各类群植物的历史过程。一般认为植物和动物共同起源于原始绿色鞭毛生物。植物已有 30 多亿年的历史,其进化分四阶段:(1)藻类植物时代。从前寒武纪到泥盆纪(4.05 亿年前),以低等植物藻类为主。其结构简单,无根茎叶的分化,配子体比孢子体发达,水生。最初是单细胞蓝藻。约 9—7 亿年前出现多细胞藻类,随后高级藻类开始发展。(2)蕨类植物时代。志留纪中晚期到泥盆纪早期,大气圈中游离氧明显增多,日光紫外线不能直射地球表面,促使植物向陆上发展。从 4.4 亿年前到 2.3 亿年前三叠纪早期,以蕨类植物为主。早期主要是裸蕨,中期有石松和楔叶植物,晚期发展出真蕨和种子蕨。蕨类处于植物进化的高级阶段,有根茎叶,孢子体开始分化。但由于受精离不开水等原始性,在二叠纪后开始衰败。(3)裸子植物时代。从晚三叠世到晚白垩世,裸子植物占优势。早期主要是苏铁和本内苏铁,晚期有银杏和松柏。从蕨类到裸子植物,最显著的变化是配子体寄生于孢子体上,种子裸露,并产生了花粉管,受精不再依赖于水。(4)被子植物时代。从晚白垩世至今。木质部分化出导管和纤维两种细胞,使输水效率和支持功

能提高，光合作用有效进行；具抗旱作用的两层珠被、双受精作用和新型胚乳的出现，大大增强了胚的发育能力和后代适应环境的能力，故能繁盛于地球上。

【动物进化历程】由动、植物的共同祖先逐渐演变为各类群动物的历史过程。一般认为植物和动物共同起源于原始绿色鞭毛生物。动物进化分两个阶段：（1）无脊椎动物阶段（从寒武纪到 4.25 亿年前的晚志留世）。这个阶段地球上陆表海广布。最原始的单细胞动物，经单细胞群体进一步分化出多细胞动物。在寒武纪各大类群的无脊椎动物均已出现，古生代后期陆生昆虫类（如古蜻蜓）才出现。（2）脊椎动物阶段（从 4 亿年前的晚志留世至今）。脊椎动物的祖先可能是古生代早期的一种蠕虫状的原始无头类。一部分原始无头类进化为原始有头类。随后，一支成为无颌类（已绝灭的甲胄鱼类和现存的圆口纲）；另一支演化为有颌类（鱼等）。随着有颌类的出现，脊椎动物逐渐繁盛起来。脊椎动物的演化历经鱼类、两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类五阶段。

【人类进化】人类的产生和发展过程。约 400 万年前南方古猿的出现标志人类进化的开始。分四阶段：（1）早期猿人（能人），约在 300—150 万年前，能制造石器进行狩猎；（2）晚期猿人（直立人），约在 200—20 万年前，能直立行走，会用火；（3）早期智人（古人），约在 20—4 万年前，能造复合工具，会人工取火；（4）晚期智人，约在 5—1 万年前，在解剖结构上属现代人，从游猎到早期农业、畜牧业和手工业，有了更明确的社会分工。1 万年以来的人类称现代人。也有人将人类进化分为能人、直立人和智人三个阶段。

生物进化的特点

【进化】又称演化。源于拉丁语 *evolutio*，“展开”的意思。到 16、17 世纪才用作英语。过去常以“*Evolution*”为广义的进化，以“*Transformation*”（演变）为生物进化。但现在一般把“*Evolution*”称为生物进化。广义的进化指事物逐渐变化、发展，包括天体的演化、生物的演变和社会的发展等。一般把生物进化简称进化，指某一物种、生物的某一类群或整个生物界的历史发展。生物进化以宇宙进化为基础，并向前发展到人类社会的进化，处于承前启后的位置。

【上升进化】又称复化式进化或全面进化。生物由简单到复杂、由低等到高等的进化方式，是生物体形态结构、生理机能的综合的、全面的进化过程。上升进化的结果是整个组织结构水平的复杂化，并由此导致整个代谢水平的提高。这是生物进化的主干。通常生物界由低等向高等发展，产生新的门或纲，都是这种方式的进化。在动物界的进化中，从鱼类到两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类、直到人类，是典型的上升进化。其进化水平，包括循环系统、消化系统、神经系统、泌尿系统等，都有显著提高。生物进化分上升式进化和分支式发展两个方面，前者是由低到高的进化，后者是由少到多的进化。

【适应辐射】简称辐射。在生物进化过程中，共同祖先由于适应不

同的环境、向着多种不同方向发展的分化式进化过程。如分别适应于奔走、树栖、水栖、飞翔和地下生活的羚羊、松鼠、鲸、蝙蝠和鼯鼠,都是由共同的原始哺乳类辐射进化而来的哺乳动物。辐射适应在所有较大的类群中都能看到,它们是由于生物适应于不同生活环境,在形态构造上形成了许多差别的结果,代谢水平并不全面提高。一般种以上、目以下分类范畴的进化都是通过这种方式进行的。由适应辐射产生的物种,彼此相似,处于同一等级的进化水平上。适应辐射促使生物物种由少到多地演化发展。

【特化】由一般到特殊的生物进化方式。指物种适应于某一独特的生活环境,形成局部器官过度发达的一种特异适应,是分化式进化的特殊情况。例如,马从多趾向单蹄方向发展,爱尔兰鹿有特别发达而沉重的角等,都是特化式进化的结果。生物特化的器官或生理特征都是对特殊、局部环境高度适应的结果。由于特化的生物类型大大缩小了原有的适应范围,所以当环境发生突然的或较大的改变时,往往导致它们的绝灭,成为进化树中的盲枝。

【简化式进化】又称退化。生物由复杂到简单的进化方式。通常是生物对寄生或固着生活的一种特殊适应,表现为大多数器官或生理机能退化,个别器官或生理机能比较发达,是分化式进化的特殊情况。例如,寄生于体内的蛔虫、绦虫、钩虫等,既无感觉器官,也无运动器官,甚至消化器官也消失了。简化式进化使生物的形态结构、生理机能全面退化,是对改变了的环境的适应。它与上升进化相反,是一种以退为进的进化方式。

【趋同进化】生物进化过程中,亲缘关系相当疏远的生物,由于生

活环境、生活方式相似，在长期适应过程中形成的形态构造或生理机能相似的现象。例如，翼龙、鸽和蝙蝠分别属于爬行纲、鸟纲和哺乳纲，由于适应于空中飞翔，都形成了翼和具有流线型的体形；而鱼龙、企鹅和海豚则是这三个纲中适应于水生的类型，前肢都演化为鳍、身体都呈流线型。趋同进化是起源不同的生物类型，都经过不同的演化过程后，又适应于相同或相似的生活环境的结果。趋同的生物类型在外表上的相似并不改变它们各自典型的内部结构，并非重返原始共同祖先的基因型，因为它们在漫长的演化过程中，已经历了多次遗传变异和不同的自然选择过程。趋同进化和平行进化难以截然区分。一般亲缘关系较远，属于不同纲或目的生物类型，在一个或多个性状上相似，称为趋同；亲缘关系较近的生物类型之间存在着这种现象则称平行。趋同和平行都不是生物进化历程的逆转，同样体现着进化的不可逆性。

【趋异进化】又称分歧。生物进化过程中，由于共同祖先适应于不同环境、向两个或两个以上方向发展的过程。例如，毛茛属植物有水中的水毛茛、沼泽里的石龙芮、旱地里的金毛茛等，就是同一类型的植物适应于不同生活条件而形态构造发生分歧的结果。如果某一类群的趋异向着辐射状的多种不同方向发展，则称为适应辐射。趋异产生的物种在形态结构、生理机能方面没有普遍提高，进化处于同一水平。趋异进化是分化式（生物类型由少到多）进化的基本方式，是生物多样化的基础。

【平行进化】进化过程中，来自共同祖先的两个生物类群，由于生活于不同生态环境而产生了性状分歧，后来又因生活于相似生态环境而产生相似的适应性状的进化方式。例如，不同种甚至不同

属的深水鱼类，发展出扁平体型的适应，在黑暗的深水中还独立发展出发光器官。平行进化是分化了的物种，经历相似的定向选择过程，种群中基因型频率分别发生改变后，在表现型上仍相类似的结果。平行进化和趋同进化难以截然区分。一般亲缘关系较近，属于不同属或种的生物类型，在某些性状上相似，称为平行；亲缘关系较远的生物类型间存在的这种现象则叫趋同。平行和趋同都不是生物进化历程的逆转，因为不同类型的生物在各自的演化过程中，已经历了多次遗传变异和不同的自然选择过程。平行进化和趋同进化均体现了进化的不可逆性。

【常速进化】又称中速进化。生物进化过程中，物种数量以中等速率增加或生物形态结构以中等速率改变的现象。马科的进化是常速进化的典型例子。从始新世的始祖马到现代马约有 6 千万年的历史。根据科学家的研究，马的进化大约每 250 万年（或 25 万代）产生出一个新种。生物进化的速率既取决于生物本身的因素，也取决于环境和时间因素。在内外因素错综复杂的相互作用下，不同类型生物的进化以不平衡的速率进行，可分为快速、常速和缓速进化。但总的来看，形态愈高进化的速度愈快，地质状况和生态环境的变化愈大，进化的速度也愈快。

【缓速进化】又称低速进化。生物进化过程中，物种数量以较低速率增加或生物形态结构以较低速率改变的现象。海豆芽自寒武纪生存至今，5 亿多年中没有显著的变化；现代的鲎与 2 亿多年前的祖先差别不大；矛尾鱼则是在 1.3 亿年内很少变化的活化石。这些生物的进化都是缓速进化。生物进化的速率既取决于生物本身的因素，也取决于环境和时间因素。在内外因素错综复杂的相互

作用下，不同生物的进化很不平衡，有缓速、常速和快速之分。但从总体上看，生物进化有加速度发展的趋势，即形态越高，进化越快。

【快速进化】又称高速进化。生物进化中，物种数量以较高速率增加或生物形态结构以较高速率改变的现象。根据一些科学家的观点，快速进化的类群每 1000 代至少产生一个新种。快速进化在哺乳动物中比较明显。比如，澳洲界的有袋类自白垩纪以后的 5000 万年左右时间内，已分化出高度专门化的多种类型。人类的进化更快，仅仅经历 150—200 万年的时间，就从直立人发展为差异显著的现代人。又如植物的多倍化物种形成，可在少数几代内完成。生物进化的速率既取决于生物体本身的因素，也取决于环境及时间因素。在内外因素错综复杂的相互作用下，不同生物具有不同的进化速率，有快速、常速和缓速之分。但从总体上看，形态越高进化越快。

【协同进化】又称共同进化。物种间或生物与环境之间在进化过程中相互选择和适应的依存现象。捕食者和猎物之间、植食动物和植物之间、植物和昆虫之间、寄生者和寄主之间等，都存在协同进化现象。它们在种群数量关系上保持动态的平衡，在自然条件下共同进化。例如，非洲的一种蚂蚁以金合欢的蜜腺分泌物为食，同时攻击吃合欢枝叶的动物并咬断其他缠绕合欢的植物。金合欢和蚂蚁相互选择，达到了完善的协同进化。种群间相互依存的结果，必然要形成协同进化关系，否则一方消失，也将导致另一方的消灭。协同进化是在自然选择作用下，生物适应于特定的地理生态条件的结果，是生物与环境在长期演化过程中形成的依赖关

系。

【绝灭】又称灭绝。生物进化过程中，某一类生物全部消失的现象。地形和气候条件的变化，物种同新出现的或从其他地区迁移来的物种间的生存竞争等，都可能导致绝灭。一些偶然事件也可导致绝灭。例如，1979 年美国物理学家阿尔瓦雷斯提出的恐龙绝灭学说认为，6.7 千万年前有一小行星冲撞地球，灰尘阻挡阳光，导致植物死亡，恐龙因缺食而绝灭。绝灭的根本原因是生物适应于环境的协调关系的破坏。持定向进化论观点的人认为，从诞生，经繁荣、稳定，到衰老、绝灭，是生物系统内在的必然过程。达尔文指出，过去绝灭的物种远远多于现存的物种，性状分歧和中间类型绝灭是物种形成的重要步骤。随着人类对环境的开发利用和各种人为的环境污染，大量的物种迅速绝灭或濒于绝灭。至 20 世纪 80 年代，已有 600 种以上的大型哺乳动物（包括中国的大熊猫、金丝猴、东北虎等）面临绝灭的危险。生物进化是不可逆的，绝灭的物种不会重新出现。

【进化不可逆规律】又称多洛定律。生物进化的一个规律。由古生物学家多洛提出。多洛在古生物学研究中发现，某种器官一经退化或消失，就再也不会恢复或发展。这一规律的要点是：总的说来，生物进化是不可逆的。已经演变的物种不可能回复到祖型，已经绝灭的物种不可能重新再生。或者说，不论是前进的进化还是减退的进化，凡进化了的生物都不会复原，即进化历史不可能重演。研究表明，某种生物适应新的生活条件，失去或退化了某些器官，当它重新回到原来的生活条件时，只可能产生新的器官执行其生存所必需的生理功能。例如，以竹类为食的熊猫，其祖先

是食肉类。熊猫多生一个大趾（假大趾）以便握竹，原有的大趾却仍在原处成为痕迹器官。在生物界存在的返祖现象，说明进化不可逆性是相对的；但由于这类现象不是普遍的，进化不可逆规律仍是一个基本法则。根据这一规律，必须保护有益生物。

生物进化的机理

【拉马克学说】一种关于生物界逐渐演变、发展的学说，是第一个系统的进化学说。认为生物具有变异特性，生物是进化而来的，变异和进化是连续、缓慢的过程。1809年，法国博物学家拉马克出版的《动物学哲学》系统地阐述了这一学说。基本要点如下：

(1) 环境影响生物体变化：环境变化引起生物变异，环境多样性导致生物多样性，这是进化的主要原因。环境对植物和低等动物的机能和结构能直接发生影响；对有神经系统的动物，则先引起需要和习性的改变，进而引起功能与结构的改变。(2) 生物进化有两条法则：一是用进废退：器官常用就发达，不用就退化；一是获得性遗传：因环境影响获得的新性状可遗传给后代。(3) 生物能按等级不断向上发展：生物具有推动自身不断发展、日趋完善的内在倾向，这是进化的另一个原因；生物有直线式上升和分枝式发展两种演化方式；低等生物由非生命物质自然发生，人类由高等猿类演化而来。拉马克因反对神创论和物种不变论，并提出第一个系统的进化学说而被尊为达尔文的先驱。但拉马克学说存在以下问题：获得性遗传缺乏证据；不恰当地将变异等同于适应；自然发生和按等级向上发展的观点是臆测的。

【达尔文主义】又称达尔文学说。一种关于生物界逐渐演变、发展的一般规律的学说，是现代进化论研究的主要理论根据。1859年，英国博物学家达尔文出版的《物种起源》为这一学说奠定了基础，以后被生物学家不断论证和发展。这一学说的基本内容有：（1）生物是进化的，物种不断发生变异，旧种消失，新种产生。现存任何物种都是某一通常已绝灭的物种的直系后代。（2）自然无飞跃。生物进化是逐渐的，连续的；自然选择通过累积细微能遗传的不定变异而发生作用，通常不会产生巨大而突然的变化。（3）各种生物都来自共同的祖先，因而各种生物之间都有或近或远的亲缘关系。（4）自然选择是进化的主导力量。人工选择的主导因素是人，自然选择的主导因素是自然界。环境的变化大都有方向性，经过长期的定向选择，利于生存的能遗传的细微变异逐渐积累，有可能导致新的物种产生。达尔文主义有力地打击了神创论和物种不变论，被恩格斯誉为19世纪自然科学的三大发现（达尔文进化论、细胞学说和能量转变与守恒定律）之一。

【拉马克主义】又称新拉马克主义。一种赞同和进一步解释拉马克学说的进化论学派。1859年，C. 达尔文的《物种起源》出版后，达尔文主义广泛流传。但在法国（J. B. 拉马克的祖国）出现一些赞同拉马克学说的学者，其他地方也有人支持，他们的观点被称为拉马克主义，或新拉马克主义（与新达尔文主义相区别）。早期代表有帕卡德、E. D. 科普、F. 勒唐得克、T. 爱米尔、H. F. 奥斯本和耐格里等。20世纪的突出代表有L. 居诺和汪德比尔特等。20世纪40年代在前苏联流行的米丘林学派实际上也是拉马克主义。这一学派没有统一的理论体系，都着重强调生物变异的主要

原因是环境影响和获得性状能够遗传，并认为自然选择在进化中不起作用或作用不大。这一学派比较深入地研究了进化的原因和遗传机制，但不承认没有触及遗传物质的环境影响只能使表型发生变化。获得性状遗传的主张至今未见有可靠的实验证据。

【新达尔文主义】一种生物进化论学派。1893年，德国生物学家魏斯曼发表《种质论》，成为这一学派的倡导人，认为生物体由种质和体质组成，遗传必须通过种质，而属于体质的获得性状不能遗传；生物进化的唯一机理是自然选择，遗传的变异（种质变化）是选择的对象。1865年，G. 孟德尔研究了“遗传因子”的分离、组合规律，揭示了生物性状的遗传本质。1901年，德弗里斯出版了《突变论》，提出了骤变式物种起源的模式，补充了达尔文渐变式进化的不足。1900年孟德尔定律重新发现后，新达尔文主义者在沟通进化论与遗传因子论方面，作出了不少贡献。1909年，约翰逊发表“纯系说”，提出基因、基因型和表现型的概念，认为选择对基因型混杂的群体有效，对纯系无效。1926年，摩尔根发表了《基因论》，将“遗传因子”、“种质”和基因概念统一起来，把基因的载体落实到染色体上，揭示了遗传变异的机制。新达尔文主义学派反对新拉马克主义的获得性遗传观点；通过对基因的研究，从遗传变异的基础上论证了生物进化，补充和说明了自然选择原理。其局限性是只从个体的而未从群体的范畴研究进化。

【自然选择学说】达尔文提出的一种解释生物进化的学说。达尔文从实践中领悟到人工育种的成功需要适当的选择和生物的变异两个因素。1838年，他把马尔萨斯《人口论》中的观点应用到整个生物界，初步概括出以生存斗争为基础的自然选择学说。在1859

年出版的《物种起源》中更明确地提出了这一学说。这一学说的要点是：(1) 在生活条件改变的情况下，生物普遍具有变异现象，获得性状可以遗传。(2) 一切生物都有高速率增加（繁殖过剩）的倾向，而空间、食物等生存条件有限；所以，生物间存在着生存竞争。(3) 在生存竞争过程中，具有对生存有利变异的个体被保存，具有不利变异的个体被淘汰。这种适者生存、不适者被淘汰的现象就是自然选择。(4) 自然选择不断保存和积累了不同器官性状的微小变异，使后代逐渐远离祖先类型，通过性状分歧、中间类型绝灭而形成新种。(5) 自然选择不断在生物与环境的相互关系中发挥作用，使物种更加适应环境，促进了生物从简单到复杂，从低等到高等的演化。自然选择学说是达尔文主义的核心。

【现代达尔文主义】又称综合进化论。一种生物进化理论。1937 年，美籍俄国遗传学家杜布赞斯基出版的《遗传学和物种起源》标志了这一理论的形成。主要论点有：(1) 群体是进化的基本单位，进化的本质是群体基因型频率的巨大改变。(2) 突变、选择、隔离是生物进化的机制，是物种形成的三步曲（突变和由杂交所实现的基因重组是进化的原材料；选择决定进化方向；隔离导致新种产生）。这一理论把基因学说和自然选择学说，以及其他学科的新成就在种群遗传学基础上综合起来，所以被称为综合进化论。它强调自然选择在进化中的重要性，否定获得性遗传，认为进化是群体现象而非个体现象，发展了达尔文主义，是现代进化学说的主流。随着分子生物学的发展，杜布赞斯基在 1970 年又提出“新综合理论”，用“平衡选择”、“定向选择”等原理解释了种群的多态现象。

【中性学说】全称分子进化的中性学说。一种分子进化学说。20 世纪 60 年代以来，由电泳等技术了解到，在核酸和蛋白质保持原有功能情况下，作为其相应构成单位的个别核苷酸和氨基酸却逐渐发生了变异。这些突变对于某一特定的大分子来说，其速率接近恒定，而与环境变化、群体大小无关。1968 年，日本遗传学家木村资生发表论文《分子水平的进化速率》，提出中性学说。次年，美国科学家金和朱克斯发表论文《非达尔文的进化》，支持中性学说。这一学说的要点是：（1）分子水平上的突变大多是“中性”或近似“中性”的，对生物个体的生存既无利也无害；中性突变主要有：1. “同义”突变，由于遗传密码的兼并性，一个核苷酸的置换，往往不造成氨基酸的改变；2. “非功能性”突变，如 DNA 非转录区或重复序列中的碱基改变，不影响蛋白质的基本功能；3. 结构基因中的一些突变，尽管改变了蛋白质的氨基酸组成，却不改变蛋白质的主要功能。（2）中性突变在群体中的固定或消失，不取决于自然选择，而是取决于随机的遗传漂变。（3）某一大分子的进化速率，取决于它的突变率，它对于所有生物几乎都是恒定的。生物进化的主导因素依然是自然选择（在个体水平上起作用），中性学说则在分子水平上丰富和发展了达尔文学说。

【间断平衡理论】又称续断平衡理论或中断平衡理论。一种生物进化理论。1972 年美国古生物学家埃尔德雷奇（Niles Eldredge）和古尔德（Stephen Jay Gould）提出。平衡，指演化的渐变期；间断，指演化的骤变期。这一理论的要点是：物种骤然出现后，又在长期内保持性状的相对稳定；进化是渐变与骤变交替出现的过程。在化石记录中，新物种常常突然出现，然后在平均几百万年的存在时期无明显的形态变化，随之又是新的骤变。自然选择作

用于缓慢变异的现存物种的过程，称种系渐变；物种在地质上短期内形成的现象，叫做成种作用。个体的随机突变只要对生存无害就会被保留，进而产生新种。在地理分布区边缘的孤立小群体中产生的突变，不因基因交流而消失，常被自然选择所保留，因而大多数新种在这些区域出现。间断平衡理论不同于达尔文的“渐变论”，目前与现代达尔文主义仍有争论。

【突变论】又称骤变论。一种关于生物物种形成的理论。1886—1899年，荷兰遗传学家德弗里斯在月见草的研究中得到若干个真实遗传的变异类型，如粗壮植株、矮短植株、短花柱、红叶脉等。据此，他于1901—1902年出版了《突变论》一书，系统地提出了“突变论”。其要点是：物种是不连续的；旧物种不需要可见到的准备，也不经过过渡类型，就能突然地产生新种。根据这一理论，自然选择只是对“突变”（骤变，不连续的变异）起“过筛”的作用，在进化过程中并不重要。德弗里斯认为，月见草的各种变异属于骤变，这些变异直接产生了新种。实验证明，月见草的变异，大多是非同源染色体多重易位或多倍化的结果，未达到形成新种的水平；而且这种现象在自然界是比较罕见的，不能因此就否定达尔文的种系渐变说。但它提出的“骤变”的物种起源方式，可能是对达尔文学说的补充，同时又启发了人们对突变的研究。不过，现代遗传学中的突变（包括基因突变和染色体畸变）与这里说的“骤变”，含义大不相同。也有人称“间断平衡理论”为“骤变论”，以区别于遗传学上的突变论。

【直生论】一种生物进化理论。认为生物受某种内在力量驱动按照一定步骤，朝一定的方向演化，环境和“器官的用与不用”都不

影响进化的方向。1951年，居诺提出，直线式进化可分为多种路线，如增大方向、过长方向、退化方向或创新方向进化等。如果某些器官受内在力量的驱动无止境地向前发展，就可能成为“包袱”，甚至导致物种绝灭（如大角鹿和剑齿虎）。马和象的进化常被看作是支持直生论的证据：马有体躯由小到大，脚趾由多到少，齿冠由矮到高等演化趋势；象有鼻子从短而小到长而大等演化趋势。现代进化理论认为，直生论未从生物同环境的关系中去理解进化，而是将进化的动力归因于预定目的，这是不符合科学事实的，因为马和象等在进化过程中也发生过分支，并非直线的进化；所谓内在力量，迄今找不到它的物质基础。马和象的进化均可用自然选择学说来解释。

【泛生说】一种用来说明获得性状遗传的学说。由英国博物学家达尔文1868年提出。达尔文接受了拉马克的“用进废退，获得性状遗传”的观点，提出了泛生说。认为生物体内各部分细胞中都含有许多粒子——泛生子（微芽）（Pangen），生物的不同性状都由一种泛生子来决定。各种泛生子能通过循环系统集中到生殖细胞中，由亲代传递给子代，使亲代的特征得以遗传。泛生子的性质能受环境的影响而改变，从而使亲代的获得性状能传给子代（获得性遗传）。但泛生子的存在并没有得到科学上的证明，泛生说现已被抛弃。

【分子进化】生物进化过程中生物大分子的演变。包括两方面含义：一是前生命物质的化学进化，即从无机分子到有机分子，特别是从简单有机分子到复杂有机分子的演变；二是进化过程中生物大分子（蛋白质和核酸等）的演变，生物大分子的差异往往能反映

出物种间的亲缘关系，体现出物种的演化过程。(1) 前生命进化：在原始地球条件下，致生元素首先形成各种原始的致生分子，再在多种能源的作用下形成低分子有机化合物，再过渡到高分子有机化合物。具有生命形态的有机体大约在 40 亿年前才由大分子有机物形成。(2) 核酸进化：从总的趋势来看，生物愈低等 DNA 量愈少，愈高等则愈多。但这一规律对于某些生物并不适用。当进化达到某一阶段后，基因的数目便不再相应地增加。进化过程中 DNA 的质也在变化，可用分子杂交等方法分析各种生物 DNA 的相似程度，从而推测有关生物之间的亲缘关系。(3) 蛋白质进化：生物进化过程中，蛋白质也在演变，用免疫学方法、同功酶电泳法、特别是氨基酸测序术可测定生物蛋白质的亲缘关系。例如，比较不同生物细胞色素 C 的氨基酸种类和顺序就可推知有关生物的亲缘关系，亲缘关系愈近的生物，其细胞色素 C 化学结构愈相似，反之亦然。(4) 遗传密码进化：一般认为一开始就是三联体密码，但只有第二位碱基决定氨基酸种类；随着进化的发展，第一位碱基也参与决氨基酸种类；最后第一、第二和第三位碱基都参与氨基酸种类的决定，成为真正的三联体密码。生物大分子具有丰富的多态现象，对于同源分子的选择大都是中性或近于中性的，因而分子进化的速率基本恒定。分子进化的研究使生物进化理论得到了很大的丰富和发展。

【彷徨变异】生物群体中某种性状的细小的、但在数量上连续的变异。在生物统计上往往表现出常态曲线分布。由达尔文提出。细小的变异（彷徨变异）是自然选择作用的基本材料，通过逐渐积累，可发生显著的变异，直到新种产生。例如，一片稻田中植株的高矮、一片麦田中每穗的结籽数量，一群奶牛产奶量的多少等，

都是彷徨变异的结果。

【相关变异】生物体在生长发育的过程中，不同部分或不同性状在变异上相互关联的现象，或者由一个器官所发生的变异引起另一些器官也发生相应的变异的现象。相关变异规律又称生长相关律。1596年，中国明代医学家和药物学家李时珍出版的《本草纲目》中记载，乌骨鸡“但观舌黑者，则肉骨俱乌，入药更良”，即指鸡舌的黑色性状同肉和骨的黑色性状的相互关联。1834年，居维叶用比较解剖学方法研究了动物器官间的异同，并利用相关变异规律，根据化石残片重现了古动物的全貌。达尔文在1859年出版的《物种起源》中指出：“相关变异是说，生物的全部机构，在生长和发育过程中彼此是如此紧密地联系在一起。因此，如果有任何部分发生了细微的变异，而为自然选择所累积，则其他部分也要发生变异。”兔毛的白色和眼睛的红色、涉水鸟的足长和颈长等都是相关性状。相关变异是环境变化、自然选择、多效性基因作用或基因连锁的结果。中国生物学家张颖清研究生物体部分与整体的关系，自1980年起创立了全息生物学，提出了生物全息律，发展了人们对相关变异规律的认识。

【人工选择】人类在饲养动物和栽培植物时，根据自己不同的需要，选留某些个体而淘汰另一些个体的过程。人工选择是一种定向选择，结果可产生不同的生物品种。英国博物学家达尔文曾研究过家鸽品种的起源。由于人类长期按不同方向的连续选择，野生岩鸽分化出数百个家鸽品种。受人工选择的启发，达尔文提出了自然选择的概念，认为自然界的物种在形成过程中，也要经过“汰劣留良”的过程，即适合于某种自然环境的个体被保留，不适合

于环境的被淘汰。人工选择的主导因素是人，自然选择的主导因素是自然条件，主要是生物之间的相互作用。人工选择是一种特殊的自然选择。人工选择作用的本质是在人为条件下，保留某些基因型，使种群向一定的方向进化。

【性状分歧】生物进化过程中，处于不同生活环境中的原始物种，在自然选择作用下产生不同性状的过程。性状分歧的结果是，中间类型因被淘汰而消失，种群经过变种发展为独立的物种。性状分歧是物种形成的必由之路。物种形成的过程实际上就是性状分歧的过程，即同一性状向不同方向变异、发展，形成不同的生物类型。在形成物种的基础上，性状分歧进一步发展，产生新的属、科、目、纲和门，即生物类型差异越来越大。C. 达尔文把性状分歧看作是生物进化的重要环节。

【生存竞争】又称生存斗争。生物在争取自身和幼体的生存中，在获得生活条件和繁衍后代中，跟其他生物相互竞争的自然现象。包括种内竞争（同种个体间的竞争）、种间竞争（异种个体间的竞争）和生物个体与生态环境的斗争。生物的高度繁殖力是生存竞争产生的重要原因。一切生物都有高速率繁殖的倾向，而地球上的食物和生存空间都有限，所以必然导致竞争。由于同种个体对食物和空间等生活条件的需求最相似，所以种内竞争往往比种间竞争剧烈。生存竞争的结果是适者生存，不适者被淘汰。适应环境的生物不仅获得生存机会，而且更重要的是，能更好地繁衍后代。生存竞争学说是以自然选择学说为核心的达尔文进化论的重要组成部分。

【自然选择】自然界中，适合于环境条件的生物被保留，不适者被淘汰的现象。1859年，英国博物学家达尔文出版了《物种起源》，创立了以自然选择学说为核心的进化论。达尔文认为，生物大量繁殖，但只有一部分生存下来；各种生物都存在着能遗传的变异（个体差异）；在生存竞争中，有利变异的个体被保留，不利变异的个体被淘汰。这种“汰劣留良”的过程叫自然选择（最适者生存）。自然选择代代积累对生存有利的变异，改进生物的适应，直到新种产生。根据现代的研究，自然选择主要有以下几个类型：（1）稳定性选择：趋于极端的变异被淘汰而中间型得以保留；（2）单向性选择：趋于某一极端的变异被淘汰而趋于另一极端的变异得以保留；（3）分裂性选择：群体中的极端变异个体按不同方向被保留下来，中间常态型大为减少，这种选择往往导致新亚种或新种的形成。在具有雌雄二态现象的生物中发生的性选择，也是一种自然选择，它使能更好地争得与异性交配的个体取得更多的繁殖机会。自然选择作用的实质是使种群的基因频率发生变化。长期的自然选择能改变生物的适应性和促使生物产生多样性，是生物进化的主导因素。

【性选择】一种特殊的自然选择，即促成与性别相联系的体形、颜色、行为等方面差异的选择，由同性（主要是雄性）个体间为取得与异性交配的机会而造成。由19世纪英国博物学家达尔文提出。这种选择局限于具雌雄二态现象的动物门类，不是所有生物中都有。它与为取得食物或空间的生存竞争无关，是同性个体为获得配偶所发生的斗争，结果是失败的个体较少生殖或不生殖，但不致于死亡。在性选择过程中，最强壮的雄性通常最适于它们在自然界中的位置，留下最多的后代。根据达尔文的观点，动物在

争夺异性时所需的攻击性、防御性器官或鲜艳的羽毛、嘹亮的声调、媚情的情态等，都与性选择有关。性选择理论是自然选择学说的重要内容。性选择导致后代遗传素质的提高，有利于物种的生存和繁衍。

【适应值】又称达尔文适应值或适合度。某一基因型个体与其他基因型个体相比时能够存活并留下后代的能力。一般用 W 或 w 表示。是对自然选择进行定量研究的重要参数。通常将适应值的最高值定为 1。假定在一个基因位点有三种基因型， AA 纯合型产生一个子代， Aa 杂合型也平均生一个子代，而 aa 纯合型平均只生 0.8 个子代，则三种基因型的适应值分别是 $W_{AA}=1$ 、 $W_{Aa}=1$ 、 $W_{aa}=0.8$ 。在自然选择的作用下，适应值较高的基因频率增加。通常具较高适应值的基因型有利于生物适应性的提高，但有时某一基因型适应值的增加，反而引起群体适应性下降。

【选择压力】自然选择在若干世代内使种群内发生遗传分化的效能，是自然选择作用强弱的一个衡量标准。自然选择不断调整生物与环境间的关系。选择压力大，后代个体存活数少；选择压力小，后代个体存活数多。通过选择压力的大小，可以判断种群的兴衰倾向。在选择压力增大的情况下，环境剧烈变迁，生存斗争激烈，促进上升进化；在选择压力缩小的情况下，环境条件平稳，生存斗争缓和，生物进化减缓。但有些生物在选择压力缩小时进化速度反而加快，因为通过两性生殖产生的各种变异，都在种群内充分表现，促进分化式进化。选择压力是影响进化速率的重要因素。

【选择系数】又称淘汰系数。衡量自然选择作用强弱的一个参数，是在自然选择作用下基因型所降低的适应值。一般记作 S 。它和适应值 (W) 的关系是 $S=1-W$ 。不同基因型的适应值和选择系数不同。选择系数大，表明自然选择不利于基因频率的增加和个体的生存、繁殖；选择系数小，表明自然选择利于基因频率的增加和个体的生存、繁殖。与正常野生基因型相比，隐性纯合突变型的适应值一般较低，因而选择系数较大。按遗传平衡原理，可以推算自然选择作用下基因频率改变的情况。假定等位基因 A 相对于 a 呈显性，设 A 的适应值是 1。由于选择是作用于表型而非基因型，所以 AA 和 Aa 的适应值都是 1。设隐性纯合子 aa 的适应值 $W_{aa}=1-S<1$ 。选择后 AA 和 Aa 的频率不变，而 aa 的频率 $=aa \times W_{aa}=q^2 \times (1-S)$ ，即以 $1-S$ 的程度减小。

【物种】简称“种”。生物分类系统上所用的基本单位。是具有一定的形态和生理特性以及一定自然分布区域的生物类群，也是生殖隔离的基本单位。物种通过种内繁殖而世代传衍；一物种的个体一般不能同其他物种的个体进行交配，即使能交配，也一般不能产生有生殖能力的后代。在生物分类上，相近的种集合为属，相近的属集合为科，科隶属于目，目隶属于纲，纲隶属于门。最高的分类单位是界或总界。种下的分类单位是亚种、变种、型或品种等。国际上通用的物种命名方法，是 1758 年林奈在《自然系统》第十版奠定的“双名命名法”（第一个字是属名，第二个字是种名，如家犬：Canis familiaris）。物种是生物进化的单元，是进化过程中从量变到质变的一个飞跃，是以自然选择为主导力量的自然规律作用的产物。在遗传与变异的矛盾中，物种既在一定条件下保持相对稳定，又不断演化，产生新种。现存物种都起源于

共同祖先，都有或远或近的亲缘关系。物种还没有一个公认的定义（现有定义大都未重视对无性生殖的低等生物的概括），故仍须进一步研究。

【多态现象】在同一物种种群中同时存在两种或多种基因型的现象，即同一位点的不同等位基因都以一定频率同时存在于种群基因库中的现象。群体中多态基因的比例，称为多态性，是度量遗传变异大小的数据。一般把最常见的等位基因频率不超过 0.95 的基因位点称为多态性位点。假定一个群体的 30 个基因位点中，有 18 个具多态性，那么，群体多态性就是 $18/30=0.60$ 。在人类中，ABO 血型就是一种多态现象。杂合优势或选择对杂合基因有利，是造成多态现象的重要原因。由于多态现象，不同等位基因组成的基因型对不同的环境条件的适应值不同，是自然选择的基础。

【渐变群】在较大地理分布区域内表现型特征有逐渐改变倾向的种群。在许多植物中，同一物种由南向北推移，它们的开花期或种子休眠期也随之逐渐推移；在鸟类和哺乳类动物中，随着分布地区由热带向寒带推移，体型有逐渐增大的倾向。非洲斑马是物种渐变群的一个著名实例。随着分布区由南向北推移，热带繁盛的草原植物逐渐被北方空旷的草原植被所替代，自然选择促使斑马腿部斑纹的数量逐渐增加。渐变群的出现，是分裂性自然选择作用的结果。在连续分化的生活环境中，自然选择促使种群基因库中的基因频率发生明显而有规律的改变，使不同地区的种群更能适应于环境。

【工业黑化】由于工业污染而造成某种蛾类黑化类型增多的现象。

关于桦尺蛾 (*Biston betularia*) 的工业黑化, 有详细的报道。桦尺蛾栖息在有地衣覆盖的树干或石块上, 灰色型可以作为保护色而利于生存 (免遭鸟类捕食)。直到 1850 年, 在英国工业中心曼彻斯特才第一次发现黑色突变型, 种群中这种基因型的频率极低。随着工业污染加重, 地衣不能生长, 树干被熏黑。桦尺蛾栖息地的背景色泽由浅灰色变为深黑色。于是 19 世纪后半叶桦尺蛾黑色型频率日渐提高, 在曼彻斯特工业区达 99%, 而在未污染的农业区, 主要仍是灰色型。根据杂交实验, 桦尺蛾多态现象的产生主要在于一对等位基因的差异。黑色等位基因对灰色等位基因呈显性, 所以纯合体 CC 和杂合体 Cc 都是黑色型。尺蛾黑化的情况在欧洲、北美都存在。工业区烟尘和废气的污染, 通过树干上地衣的受毒死亡、鸟类捕食等条件, 构成了定向选择, 使种群基因频率改变, 黑色型数量迅速增加, 灰色型急剧减少。工业黑化现象是自然选择作用的典型实例。

【隔离机制】导致亲缘关系较近的生物类群间不易交配或交配后不能产生可育后代的原因。主要类型有受精前隔离和受精后隔离。前者又分为: (1) 地理隔离, 由地理屏障造成的隔离; (2) 生态隔离, 自然种群生存在同一地域的不同生态环境所发生的隔离; (3) 季节隔离 (时间隔离), 交配或开花发生在不同季节而引起的隔离; (4) 形态隔离 (机械隔离), 因生殖器或花器在形态上的差异而造成的交配受精障碍; (5) 性别隔离; 异种的两性间缺乏吸引力而造成的隔离; (6) 生理隔离, 植物传粉或动物交配后, 因生理上不协调而造成的受精障碍。后者又分为: (1) 杂种不活, 杂种合子不能生存, 或适应性比亲本差; (2) 杂种不育, 杂种个体不能产生正常后代; (3) 杂种破落, 子二代或回交杂种的全部或

部分不能生存或适应性差。在进化过程中，一般先由地理隔离或生态隔离造成种群间交配受阻，在自然选择下，各个隔离的种群继续发生遗传变异，出现了各种生殖隔离，最终导致新种产生。生殖隔离实质上都是物种间基因交流的障碍。

【物种形成】又称物种起源。生物进化中新物种从旧物种分化出来的过程。达尔文认为，自然选择以微小的不定变异为原料，积累有利于生物生存的变异，经过性状分歧和中间类型消失而形成新物种。物种形成有基因突变与重组、自然选择与隔离三个主要环节。新种一旦形成，即标志着生殖作用连续性的间断。物种形成的基本条件是遗传的变异和环境的变化。物种形成有渐变和骤变两种方式。渐变式包括：（1）继承式，一个物种在同一地区逐渐演化为另一物种；（2）分化式，一个物种在其分布范围内逐渐分化为两个或多个物种。骤变式包括通过杂交或多倍体形成等方式在较短时期内产生新物种。物种形成又可分为异域式和同域式两类。异域式又称地理隔离式，一物种被分成两个或多个地理隔离群体，适应不同环境，继续发生随机遗传变异，进而分化成生殖隔离的新物种；同域式指同一地区的群体间由于生态分异等原因，基因交流受阻，出现生殖隔离并分化形成新种。物种形成是生物进化的主要环节，是生物多样性的基础。

【继承式物种形成】一种物种形成方式。指一个物种在同一地区内逐渐演变成新的物种。由于这一物种形成方式经历时间很长，所以只见于古生物学材料。根据一定的形态差异，将化石标本定为不同的古生物学种。例如东南欧第三纪地层中的田螺化石，地层下部的类型（芮氏螺）逐渐由中间类型过渡到地层上部的类型

(贺氏螺)，它们的螺壳由光滑型过渡到有棱脊型。这种渐变与分布区生活条件的连续变迁有直接联系，是连续定向选择的结果。通过变异的逐渐积累而形成亚种，再由亚种形成一个或多个新种。由于在同一地区，经历着大致相同的环境变迁，时间因素起主要作用，所以物种数目不增加。

【分化式物种形成】一种物种形成方式。指一个物种在其分布范围内逐渐分化成两个以上物种。这种物种形成方式一般是由于地理隔离或生态隔离而导致新物种的产生。包括异地分化式和同地分化式两种类型。前者是种群在不同地区分化成地理亚种，再发展新种；后者是种群在同一地区分化为不同的生态亚种，再发展新种。前者是分化式物种形成的最普遍方式。分化式物种形成的第一步是同一物种两个种群间基因交流受阻或中断，以致遗传分化越来越明显；第二步是在自然选择促进下，形成完全的生殖隔离，由亚种发展为不同的物种。从形成速度上看，属于渐变式物种形成。

【多倍化物种形成】一种物种形成方式。指由两个物种杂交和染色体加倍而形成新物种。主要发生在植物界。一般由杂交所致，所形成的多倍体的全部基因都存在于其祖先里。由于祖先种会继续与多倍体共存，因此生物多样性增加了。普通小麦是一种异源六倍体（具 42 条染色体），它是由各具 14 条染色体的三个原始种杂交所产生的。动物多倍化物种形成也存在，但不一定涉及异种杂交。多倍化物种形成把相互杂交的祖先种的形态特征和细胞学特征综合在一起，在进化上有重要意义。这种物种形成方式的主要特点是，发生于同一地区，物种形成迅速，不必经过亚种的阶梯；

在少数几代中即可产生生殖隔离，形成新种。从形成速度上看，属于骤变式物种形成。

【大进化】又称种上进化、越种进化、宏观进化、巨进化。在地质时期所发生的、生物的较大新类型的起源和发展，即分类学上间隔很大的那类进化。如古生代大量门的分化，中生代鸟纲和哺乳纲的出现都是典型的例子。也指新物种形成一类的进化，对应于小进化（种内进化）。大进化是由于大范围的染色体组重排等因素带来的生物进化，通过这一过程，实现物种以上的种类进化。生物的大类群（如门），往往是从一个基本类型分化而来的；在某些情况下，可以证明两个或两个以上大类群由同一个原始类群进化而来。小进化和物种形成具有连续性，为大进化提供了基础。

【小进化】又称种内进化、种下进化、微进化。发生于一个物种当中的进化，多由种内部分个体的微小的可遗传变异的积累所致。进化的结果不导致主要遗传性状区别于原种而与原种发生生殖隔离的新种的产生。由于生活环境改变的影响，或突变、人工诱变所形成的亚种或变种，都是小进化的结果。由中国鲫鱼（特别是红黄鲫鱼）演化来的金鱼，在 1000 多年时间内产生了上百个品种，是小进化的典型例子。小进化是大进化（种上进化、越种进化）的基础。

【相似系数】两个生物群体间遗传相似性（遗传同一性）的度量，通常用 I 表示。假定 A 、 B 是两个不同的群体， K 是给定的基因位点，在这两个群体中观察到了 i 个不同的等位基因。在群体 A 中这些等位基因的频率用 a_1 、 a_2 、 a_3 等表示，在群体 B 中用 b_1 、 b_2 、

b_3 等表示。那么，这两个群体间在这一基因位点上的相似系数为 $I_K = \sum a_i b_i / \sqrt{\sum a_i^2 \sum b_i^2}$ 。其中 $i=1, 2, 3$ 等。

【遗传距离】两个生物群体间遗传差异程度的度量，通常用 D 表示。设 I 是两个群体间的遗传相似系数（参见“相似系数”），那么 $D = -\ln I$ 就是它们之间的遗传距离。

【进化树】又称系统树。根据各类生物形态结构等方面的差异程度绘制的生物物种的亲缘关系树状图。德国博物学家海克尔曾把植物界和动物界的整个演化过程，看作一株进化树的两个主干，从主干上产生出门和纲的次一级枝干，再依次产生出目、科和属的更小分枝，在小枝顶端上的芽，就是物种。从进化树上可以看出，生物进化具有性状分歧性质。每一个物种，每一个属、科、目、纲和门，都是通过性状分歧产生的，即通过生物类型愈来愈增长的差异发生的。进化树可以简明地表示生物的进化历程和亲缘关系。根据蛋白质的氨基酸差异和核酸的核苷酸差异（包括氨基酸的种类和序列、核苷酸的种类和序列）等资料而描绘的进化树，称为分子进化树。

生物与环境

环境分析

【生态因子】又称环境因子。是组成环境的因素，指生物生活场所中，对生物生活和繁衍有直接或间接影响的各种因素。生态因子中，对生物生存所必需的环境因素，称生长条件。例如动物的生长条件是食物、热量、水、氧；植物是二氧化碳、水、光。生态因子通常分为非生物因子和生物因子两大类。非生物因子包括温度、光、氧、盐等理化因子；生物因子指同种生物的其他有机体（构成种内关系），和异种生物的有机体（构成种间关系）。生态因子的分类方式较多，由此可得气候因子、土地因子、生物因子、人为因子、密度制约因子和非密度制约因子、稳定因子和变动因子、直接因子和间接因子等。不管如何划分，在自然界中，各种生态因子不是孤立、单独地起作用，而是相互影响，相互制约，综合性地作用于生物体。

【限制因子】对生物生存和发展起限制作用的生态因子。自然界环境条件的差异极大，生长在不同生境中的生物受到环境条件的限制。生物和环境的相互关系是复杂的，各种生态因子对生物的作用

用是不等的，有的更重要，有的较次要。在生物生活环境的众多因子中，任何一个因子，只要接近或超过某种生物耐受性极限时，就成为限制因子。例如干旱地区水是限制因子；寒冷地区热量是限制因子；水体中氧是限制因子等。池塘高密度流水养鱼，停供饲料几日，鱼儿不会饿死，如停止水泵运转，使水的更新停止，往往只要十几分钟，鱼儿便大批死亡，表现水中溶氧是限制因子。

【耐受性定律】一种生态规律。指任何一个生态因子在数量上或质量上的不足或过多，当其接近或达到某种生物的耐受极限时，往往会使该种生物衰退或不能生存。1913年由美国生态学家谢尔福德提出。耐受定律的特点在于它考虑了生态因子数量的过少及过多两方面的限制作用，考虑了生物随着种类、年龄、栖息地季节的变化而产生了不同的耐受性，以及注意到生态因子之间的相互作用，如因子替代作用和因子补偿作用。利用耐受性定律，能说明物种在自然界的分布问题。

【生态幅】又称生态价。生物生存和繁衍取决于综合的环境条件状况，其中生态因子数量或质量的不足或者过高（如过低的温度或过高的温度；过低的水分或过多的水分），均成为限制因子。因此，各种生物对每种环境因素都有一个耐受范围，即有一个生态上的最低点（耐受性下限）和一个最高点（耐受性上限）。耐受性下限和上限之间的范围，即种的适应范围，称生态幅。生态幅宽的称广生性生物，生态幅窄的称狭生性生物。如广光性动物：黄鼠、麻蜥、沙蜥等；狭光性动物：夜莺、夜蛾、鸱鸢等；广温性生物：早熟禾，虎、抹香鲸等；狭温性生物：热带橡胶，鳄，喜冷的鳟鱼等。

【生物学零度】又称发育起点温度。变温动物的体温依赖于环境温度，当环境温度过低，不超过生命的耐受极限时，动物不会死亡，但可能引起昏迷，由于代谢水平较低，甚至出现严重生理障碍。在这个温度下，动物的生长和发育停止。即变温动物生长和发育需要一定的温度范围，高于某一温度，动物才开始生长发育，这一温度阈值称为生物学零度。

【有效积温】植物和变温动物完成某个发育阶段或整个世代所需的有效温度的累积值。植物和变温动物的发育速度随环境温度增高而加快，完成某一阶段发育所需的天数随环境温度的升高而减少。它们完成某一发育期需要一定的总热量（ K ），称为热常数、或总积温，或有效积温，完成某一发育阶段所需要的天数（ N ）和每日的有效温度（ $T-C$ ）的积累数就是有效积温。可用公式表示： $K = N(T-C)$ 。其中 T 为发育期的环境平均温度， C 为发育起点温度即生物学零度。由公式可见，有效温度（ $T-C$ ）高，生物生长发育日期短，发育速度快；有效温度低，则生长发育日期长，发育速度慢。可见它反映了生物发育速度、发育天数与环境温度的关系。有效积温在实践中应用较广，可预测某种害虫的发生期，预测某地区某种害虫发生的世代数，积极进行害虫防治，以及保护和利用益虫。

【体表面积定律】一条生态学定律。内温动物（即恒温动物）身体内的产热量与动物体重或体积相关，通过对流、辐射、传导与蒸发等途径的散热量与身体体表面积相关。随着动物个体加大，相对体表面积就变小，单位体重上的相对散热量也变小，这就是体

表面积定律。体表面积定律是贝格曼规律的基础。该规律指出,生活在寒冷气候中的内温动物,一般体型较大;生活在温和气候下的同种动物,一般体型较小。例如东北野猪的颅长 400—472 毫米,远大于华南野猪 95—354 毫米。这是动物对寒冷气候的一种适应性,因为身体越大,相对散热量越少,对动物生存是有利的。生活在北半球北部的动物,正是通过长期的自然选择,而形成了较大的体型。但在寒冷北方,并非所有动物均符合此规律,因动物个体的大小不仅受到温度的影响,同时也受到食物条件的限制,有时食物条件的多少起了主导因子的作用。

【阿伦规律】19 世纪美国动物学家阿伦总结出的一条动物学规律。该规律指出,在寒冷地区生活的内温动物与在温暖地区生活的动物相比,身体的突出部分,如四肢、尾巴、耳朵等变小或变短,以减少身体的散热。这是动物对寒冷环境的一种适应。

【热中性区】在环境温度的某一范围内,内温动物耗氧量最低,并且不随环境温度而变化,是代谢的稳定区。在热中性区,动物机体产热量稳定,恒定体温的维持是依靠改变身体的热传导率,通过传导、对流、辐射和蒸发等散热途径,例如改变身体姿势,使散热面积增大或缩小;通过皮肤下血管的舒缩,控制体表温度等。热中性区的下端(靠低温端),称下临界温度,上端(靠高温端)称上临界温度。当环境温度降到下临界温度以下时,动物增加耗氧量,提高代谢率,体内产热量增加,以维持恒定体温。当环境温度超过上临界温度时,动物耗氧量迅速上升,体内产热量增加,体温将随之上升。

【生态气候】又称地方气候。由中等大小的地形、大片植被、生物的栖居等较小的气候形成因素所决定的气候。而由大气环流、地理纬度、离海远近、海拔高低、大面积地形等大范围因素所引起的气候现象，称为大气候。例如，森林与邻近开阔地带具有不同的生态气候，由于林冠吸收大量太阳辐射能，白天林中气温比开阔地低，而夜间则较高；森林中的相对湿度比开阔地高，且风速较小等。生态气候虽是地方性的、局部性的，但也受到大气候条件的影响，为大气候所左右。

【生物气候定律】动植物的生活方式和生命现象常随外界环境的季节变化而呈规律性改变的现象。将生物的各种生命现象随一年季节的变化而出现称物候现象，出现的日期为物候日期。同一个生物物候现象的物候日期往往随地理纬度、经度、距离海的远近、海拔高度而改变。随着海拔高度和纬度的增加，物候日期在春季逐渐后延，在秋季逐渐提前。这些日期的改变常常是有规律的。美国森林昆虫学家霍普金斯（19 世纪）通过 20 多年物候研究，总结出一条规律，后人称之为霍普金斯生物气候定律：在北美洲温带区内，其他因素相同条件下，纬度每向北移动 1 度，经度向东移动 5 度，海拔上升 400 英尺，植物的开花、结果，昆虫的活动等物候日期在春季后延 4 天，在秋季提前 4 天。生物气候定律能大体上确定不同地区季节现象的日期，因而实践中具有重要意义，可指导农业生产，避免虫害的侵袭等。

【似昼夜节律】又称自运节律或自持振荡。离开自然界 24 小时的日节律，生物内部自发性的和自运性的内源节律，周期接近 24 小时。如果将动物放于恒黑或恒亮环境中，去掉外界日节律的影响，

仍可见动物有昼夜节律。例如夜间活动的小飞鼠，放于恒黑环境中，他们保持昼夜活动节律，但周期不是 24 小时，而是 22 小时 58 分至 24 小时 21 分之间（个体间的差异），平均 23 小时 50 分，比日节律缩短。如果放于恒亮环境中，其昼夜周期比 24 小时延长。曾观察到，生活在完全隔离的地下室中数周的人，其似昼夜节律自运周期变成了 26 小时。似昼夜节律产生的机理，多数学者认为是机体内部的生物钟或生理钟。生物钟决定了机体生理和行为变化的节律，外部因素只在调整内部生物钟时起定时因素的作用，使体内的似昼夜节律与外界环境节律同步化。生物钟的基础是细胞内或内分泌系统的生化反应。生物钟的起搏器在哺乳类可能是下视丘的上视交叉核。

种群生态

【生境】生物的聚居地或栖息地。指的是生物采食和日常活动出现在环境中的空间及其中的全部生态因子。某一生物或某个种群的生境，应包括其他生物及非生物环境；若指某个生物群落的生境，则只包括非生物环境。生境不同于生态位，可以比喻地说，生境是生物的“住址”，生态位则是生物的“职业”。由于自然环境的千差万别，有稳定型的热带雨林，有极不稳定的寒带和荒漠，因此生境可分稳定型与突变型，对生活在其中的生物带来不同影响，从而产生了适应于生境特征的生物种群，如 K-对策者及 γ -对策者等。

【种群特征】种群的群体特点。种群是在一定时间内生活在一空间的同种个体的集合群。它是物种存在的基本单位，又是生物群落的构成单位。种群不是简单的个体总和，而是除了具有组成种群的个体的生物学特征外，还具有种群水平上的群体特征，如出生率、死亡率、增长率、年龄结构、性比、遗传上的适合度等。概括起来，自然种群具有 3 个基本特征：（1）空间特征。种群具有一定的分布区域，或称格局，通常分为均匀型，随机型和集群型三类。（2）数量特征。种群数量有大小，种群密度也时刻在变化。影响种群密度有 4 个参数，即出生率，死亡率，迁入和迁出。出生率和迁入使种群密度增加，死亡率和迁出使种群密度减少。（3）遗传特征。种群具有一定的基因组成，是一个基因库，可将其相似特征一代代传下去，而不同于其他物种。但基因组成也时常会发生改变。

【种群动态】种群大小或数量在时间上和空间上的变化，是种群生态学研究的核心问题。就是探讨种群数量或密度的大小，怎样随着时间和种群个体在空间分布格局及位置上的变化而变动的情况（迁移和扩散），以及哪些因素调节了种群的变动。种群的数量或丰盛度和分布是紧密相关的，是同一种群动态过程中的两方面的表现。在分布区范围内，有的地方密度高，有的地方密度低，随着密度的改变，物种在分布区内的空间结构也随之改变。除了种群大小或数量变化外，近代生态学还注意到种群质的变化，即种群内的异质性，如种群遗传组成的变化、种群内的生理特征和行为特征的异质性等。这些特征的变化规律，对深入阐明种群数量变动具有重大意义。

【生命表】用来描述种群死亡过程的工具。生命表的制作分若干栏，依次为：(1) 按年龄划分阶段（用 x 表示）；(2) 在某年龄期开始时的存活数目（ n_x ）；(3) 在某年龄期开始时的存活率（ L_x ）；(4) 从某年龄期到下一个年龄期的死亡数目（ d_x ）；(5) 从某年龄期到下一个年龄期的死亡率（ q_x ）；(6) 某年龄期开始时的平均生命期望（即期望寿命）（ e_x ）。根据公式可算出平均生命期望值 $e_x =$

$$\frac{\int_x^{\infty} L_x dx}{L_x}, \text{ 其中 } \infty \text{ 代表最高年龄数。}$$

生命表用在人寿保险上作为收保险金的依据。生命表分动态生命表和静态生命表两类。动态生命表是由观察一群同时出生的生物死亡过程所获得的数据编制而成，又称同龄群生命表、特定年龄生命表或水平生命表，它反映了同一龄群的种群数量动态的真实信息。但要在同一时间获得一大群新生个体是很困难的，尤其是对百年以上的长寿命种群更不可能。静态生命表根据某一特定时间内，对种群的年龄结构调查的数据编制，又称特定时间生命表或垂直生命表。由于各年龄组经受不同环境条件，故与动态表描述的死亡过程不同。

【存活曲线】用图表示一个种群的生存状况或死亡过程。按生命表统计的数据，以横坐标为年龄（平均寿命百分比），纵坐标为存活数目的对数，所得曲线为存活曲线。存活曲线一般有 3 种类型（见图）：(1) 凸型（A）。种群接近老年的寿终之前，只有个别个体死亡，几乎所有个体都能达到生理寿命。盘羊等大型哺乳动物和人类的存活曲线就接近 A 型。(2) 对角线型（B）。各年龄的死亡率是相等的，许多鸟类接近 B 型。在全变态昆虫的生活周期中，各阶段的死亡率差别很大，可能出现类似 B_1 阶梯形存活曲线，反

映了它们生活史中存在若干最危险的时期（卵、化蛹，成虫末期）。许多鸟类、鼠类和兔的存活曲线为 B_2 型，幼年期死亡率较高，成年期比较稳定。（3）凹型（C）。早期死亡率很高，以后的死亡率低而稳定。牡蛎或其他甲壳动物，栎树，海洋鱼类，海产无脊椎动物和寄生虫等接近这一类型。自然界中的种群，很难找到上述那样典型的存活曲线，只是接近某型或中间型。并且存活曲线的形状也常随种群的密度而改变。从昆虫到哺乳类这一进化过程中，产子数量逐渐减少，促使存活曲线由经历了 C 型→B 型→A 型的进化。

存活曲线

【年龄锥体】又称年龄金字塔。是分析种群年龄结构的一种方法，是由从下到上的一系列不同宽度的横柱作成的图。横柱的宽度表示各年龄组的个体数或所占百分比，横柱的位置由低到高表示由幼年到老年的不同年龄组。博登海默（1938）将生态年龄分为三个时期，繁殖前期，繁殖期和繁殖后期，得到 3 种类型的年龄锥体：（1）典型的金字塔形，其基部宽大顶部狭窄，种群中有大量

幼体，老年个体很少，这种种群出生率大于死亡率，是增长型种群。(2) 钟形，种群中幼年个体与老年个体大致相等，即出生率与死亡率大致相平衡，种群数量较稳定，为稳定型种群。(3) 壶形，基部比较窄而顶部较宽，种群中幼体较少，老年个体较多，种群出生率小于死亡率，种群数量趋于下降，为下降型种群。年龄锥体有利于研究种群动态和对种群数量进行预测预报，如现代欧洲、北美和苏联的人口结构呈钟形，表明人口数量比较稳定，而南亚、非洲和拉丁美洲则是典型的金字塔型结构，人口增长迅速。中国 1982 年的人口结构呈金字塔形，近 10 年来人口出生率明显减少，0—5 岁和 5—10 岁两个年龄组的横柱明显变窄，表明计划生育工作有成效。

【生态出生率】 又称实际出生率。在真实的或特定的环境条件下，种群实际上的出生率。出生率是种群增长的固有能力。在理想状态下，即无任何生态因子的限制作用时，如光照、温度、水分、食物、种群密度等都充足合适的条件下，种群得到的出生率是最大的。生物的生长由性成熟的速度、每次产仔数目、每年繁殖次数等生理因素所决定。因此，某个特定种群的最大出生率是一个常数。而生态出生率却不是一个常数，是可变的，它取决于种群的组成和大小，以及物理环境条件的变化。

【生态死亡率】 又称实际死亡率。在真实的或特定环境条件下种群的死亡率。种群处于最适环境条件下，种群中的个体都能活到生理寿命（指种群处于最适条件下的平均寿命）而死亡，称为最低死亡率。而在真实或特定的环境条件下，只有一部分个体能活到生理寿命，多数个体由于捕食者、疾病，不良气候等原因而提早

死亡。可见生态死亡率是随着种群状况和环境条件而改变的。

【内禀增长能力】当环境条件如食物、空间和其他有机体等都没有限制性影响时，特定种群的死亡率最小，出生率最大。在这种有利条件下，种群的增长率最大，种群内部的这种潜在增长能力，称为内禀增长能力 (r_m)。它取决于动物生殖能力、寿命和发育速度。通过各年龄组的存活率、出生率，及由母代生殖到子代生殖的平均世代时间，可计算出来 $r_m = \frac{\sum x l_x m_x}{T}$ ， x 代表年龄， L_x 为 x 龄期的存活率， m_x 为 x 龄期的出生率， T 为该种的平均世代时间。 r_m 实为一种群的瞬时增长率，是在控制条件下或实验室条件下种群的增长率。在变化的自然界中，随着环境条件的优劣，种群增长能力发生从正值到负值的变化，与 r_m 差距甚大。但 r_m 的研究仍然很有意义，它是种群增殖能力的综合指标，能反映出环境的细微变化，故常用来作为特定种群对环境质量反应的一个指标，并且是人口控制的理论依据。

【生态入侵】由于人类有意识或无意识活动，将某些生物带入适宜其生存和繁衍的新地区，使种群数量不断地增加，分布区也逐步稳定地扩展的过程。例如原产于墨西哥的紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*)，作为观赏植物约于 1865 年被引入夏威夷，1875 年又引入澳大利亚，后来到处繁衍，泛滥成灾。解放前，紫茎泽兰又由缅甸、越南侵入中国云南，现在已扩展到广西、贵州境内。在滇南地区，这种植物已发展为成片的优势群落，侵入农田，影响作物生长；侵入草场，危害了牧畜；侵入荒山，影响林木生长，成为名副其实的害草。又如非洲冈比亚按蚊 (*Anopheles*

gambiae) 约 1929 年随法国高速驱逐舰到达巴西, 在巴西建立起新的种群, 并引起严重疟疾流行, 使 90 万居民患病, 1.2 万人死亡。后来动用 3000 人, 花了近 3 年时间才消灭了它。

【内分布型】从静态方面对种群的空间关系进行研究, 指组成种群的个体在其生活空间中的位置状态或布局。又称格局。种群的内分布型大致可以分三类: (1) 随机型分布, 每个个体在种群领域中各个点上出现的机会是均等的, 并且每一个体的存在不影响另一个体的分布。这种分布在自然界比较少见, 但存在着。如面粉中生长的黄粉虫 (*Tenebrio molitor*), 弃耕田上分布的狼蛛 (*Lycosa*)。 (2) 均匀型分布, 个体在种群领域中有规律的分布, 彼此间保持着一定距离, 例如在海岸崖上营巢的海鸥、鹭鸶, 雌雄成对分布做巢往往是很均匀的。这种分布型出现在个体空间竞争很激烈的条件下。 (3) 成群型分布, 这是自然界最常见的一种分布, 如鱼群、鸟群和兽群。群内自身的分布, 又可能成为均匀群、随机群或成群群。内分布型属于哪一类型, 用统计方法可以确定: 分布区域内按样方进行取样, 个体出现频率符合波松分布的, 即方差与平均数相等, 为随机分布型; 若方差小于平均数, 为均匀分布; 若方差大于平均数, 则为成群分布型。

【阿利氏规律】由美国生态学家阿利发现的一个生态学规律。动物集群是对空间利用的一种方式, 集群生活有利于共同取食, 共同防御天敌, 有利于动物繁殖和幼体发育, 改变了小气候和小生境条件, 提高集群动物的存活率。如一箱蜂能产生和保持相当的热, 使全部个体能在低温下存活, 如果蜂单独生活, 可能全部冻死。群栖鸟类常在群体变小时停止繁殖或繁殖强度降低。但是随着种群

中个体数量的增加，对食物、水和空间等的竞争加剧，又抑制了种群的增长率，使其死亡率上升，给种群带来不利影响。阿利首先注意到并用实验证明，集群有利于种群的最适增长与存活，但需要一个最适的种群密度，当种群过密或过疏时，都可能对种群产生抑制性影响，这就是阿利氏规律。阿利氏规律对珍稀濒危动物的保护及引种有指导意义，也可运用于人类社会，如指导最适规模的城市建设等。

【种内关系】同一物种内的个体之间的相互关系或相互作用。从动物行为上看，可将种内关系分为合作与竞争两类。合作关系表现为雌雄之间，家属成员之间的关系，求偶、交配、抚育后代等行为。种内的通讯、信息传递行为、集群的生活方式等也是合作关系的表现。合作关系有利于种群的增长与繁衍。随着种内动物数量增加，对共同利用的食物、水等资源，隐蔽场所和争夺配偶等竞争加剧，有的出现直接格斗，甚至杀死同类。竞争的结果，导致种内出现社会等级（在一个种群内，各个体地位有一定的顺序性，有支配与从属关系。这是通过打斗、攻击、威吓而建立、稳定下来的顺序）和动物的领域性（优势动物占据资源丰富的中央地域，从属动物占据条件差的外围地域）。从个体角度看，种内竞争导致死亡是有害的，但从种群整体分析，竞争保存了较强个体，淘汰较弱个体，对种的进化是有利的，同时自动调节了种群密度。动物界也有种内寄生现象〔如栖息于深海中的光棒鱼（*Photocorynus spiniceps*），个体很小的雄鱼吸附在个体大的雌鱼体上，靠吸雌鱼的血为生，但有利于繁殖〕和种内捕食现象（如在没有其他鱼的水体中，食肉性鲈鱼成鱼常食本种幼鱼）。种内关系的种种表现，均揭示它在保证本种繁荣和生存上的意义。

【种间关系】不同物种个体之间的相互关系或相互作用。有的种间关系很不密切，一个种群对另一种群只产生很小的间接影响，如生态系统的能流过程中相隔很远的营养级之间的能量交换。有的种间关系很密切，表现为一个种群直接作用于另一个种群，如竞争、捕食、寄生、偏害，互利共生，共栖等关系。种间关系有两种基本类型：（1）正相互作用，如互利共生，共栖等。（2）负相互作用，如竞争、捕食、寄生和偏害等。从表面上看，负相互作用好像是两个种之间你死我活的对抗性关系，但从整体上去看，这种关系却是相辅相成的。如果捕食者将猎物全部消灭，则捕食者必将因饥饿而死亡；寄生者如把宿主全部杀死，寄生者也就不能存在了。事实表明，在长期的进化过程中，捕食者—猎物系统，寄生者—宿主系统形成了复杂的协同进化，常常是有害的“负作用”倾向于减弱。

【共栖】又称偏利共生。指两个物种共同生活，其中一个物种获利，另一个物种既不得利，也不受损害；彼此分开，仍能生存。偏利共生是最简单的正相互作用类型，是向互利共生发展的第一步。普遍存在于营固着生活的植物和动物之间，运动迟缓和行动迅速的动物之间。如蛤贝与豆蟹（*Pinnotheres*）的共生，豆蟹栖息在蛤的外套腔内，靠食宿主的残食与排泄物而生存，但对蛤没有影响。豆蟹也并非完全依赖于蛤，离开后找到别类宿主仍能生存。

【互利共生】又称专性共生。两个物种长期共同生活，彼此相互依赖，双方获利，并发展到彼此不能独立生存的地步。属两个物种间的正相互作用。互利共生出现在世界上大部分的生物中。如草

地与森林占优势的植物，其根往往与真菌共生，形成菌根；多数有花植物依赖昆虫传粉；大部分动物的消化道中有微生物群落等。又如社会性昆虫白蚁吃木头，但本身不能消化纤维素，须靠肠道内的鞭毛虫（*Trichomonas termopsidis*）分泌酶酵解纤维素或脂肪酸，方能被白蚁肠道吸收，如果人工除去白蚁肠道中鞭毛虫，白蚁将活活饿死，表明白蚁与鞭毛虫为互利共生。白蚁肠道中的鞭毛虫与肠道内的螺旋体构成另一种互利共生关系：螺旋体集中于鞭毛虫的表面，能推动鞭毛虫运动，但须靠鞭毛虫提供营养。再如地衣是藻菌的共生体，藻类进行光合作用，制造养料，菌丝则吸收水分和无机盐，提供生产原料，两者紧密结合，相互补充，形成一个不可分割的整体。

【竞争】为争夺空间或共同的环境资源（如食物、水及营养物质等）而发生的种内与种间的相互作用。种间竞争可分为：（1）资源利用性竞争，两个种之间没有直接冲突，只因资源总量减少，使竞争对手的存活、繁殖及生长受到影响。（2）相互干涉竞争，物种之间，不仅竞争食物，还相互干涉。如共同饲养在面粉中的杂拟谷盗（*Tribolium castaneum*）与锯谷盗（*Oryzaephilus surinamensis*），有相互吃卵的直接冲突。种间竞争有二个特点：（1）不对称性，指竞争各方影响的大小和后果不同，即竞争后果的不等性。（2）对一种资源的竞争，能影响对另一种资源的竞争结果。如植物种间竞争中，树冠对光照的竞争会影响根系对营养物和水的竞争。种间竞争的结果，常导致生态学接近的两个种，不能在同一地区生活，最终一个种将取代另一个种。如果两个种在同一地区生活，它们将利用不同的食物，占有不同的空间，有不同的活动时间等，形成生态分离。这就是竞争排斥原理。是由高

斯于 1934 年进行的草履虫实验所证实，称为高斯原理。种内竞争往往导致动物领域的划分和动物社会等级的形成。

【生态位】又名生态龛。1910 年约翰逊首先使用这一术语，但他没有给出定义。以后很多学者给这一概念下了内容不同的定义，大致可归纳为三类：（1）格林尼尔（1917）的空间生态位或生境生态位，指一个物种对栖息地占据的基本空间单位，即物种的最小分布单位，其中的结构和条件能够维持物种的生存。（2）埃尔顿（1927）的营养生态位或功能生态位，指物种在生物群落中的功能作用和地位，强调与其他物种的营养关系，如动物在生物群落中的位置，动物与食物和天敌的关系等。（3）哈奇森（1958）用数学语言和抽象空间描绘的超体积生态位，认为生物是多维空间或超体积的，环境有几个变量（如食物、温度、湿度、酸度等），就形成了几维超体积生态位。在这个范围内，环境可以允许生物不受限制地生存。概括生态位定义，就是物种在它的生物与非生物环境中的地位。

【偏害作用】两类生物间负相互作用，其中一个种被抑制或者被消灭，另一个种不受影响。异种抑制作用和抗生作用均属此类。抗生作用是某种活的机体，如细菌、放线菌等的次级代谢产物及其衍生物，抑制或杀死另一种或多种微生物的过程。如点青霉（*Penicillium notatum*）产生的青霉素，链霉菌（*Streptomyces griseus*）产生的链霉素，可杀死多种细菌。异种抑制作用也称他感作用或相克作用，又属于相互干涉性竞争，一般是指植物分泌一种化学物质，能够抑制其它植物的生长。如胡桃树（*Juglans nigra*）的根系分泌的胡桃醌，能使胡桃树周围的草本植物受抑制。榛

树根也分泌胡桃醌。高山植物斑唇马先蒿 (*Pedicularis longiflora* var. *tubiformis*) 抑制了周围的青稞或小麦种子的萌发和生长。

【捕食】一种生物个体杀死或吃另一种生物个体的现象。属于两个物种间的负相互作用。典型的捕食是食肉动物吃食草动物或吃其他小的食肉动物，这是狭义上的捕食者与被食者。广义的捕食还包括食草动物吃绿色植物，昆虫中的拟寄生者吃宿主（如寄生蜂将卵产在昆虫幼虫体内，随着卵的发育过程逐步消耗宿主的全部内脏器官，最后昆虫只剩下空壳），以及同种相食 [一些鱼类，如沙丁鱼、鳀鱼、鲈鱼等成鱼吃幼鱼，面粉甲虫 (*Tribolium*) 吃自己的卵、蛹等]。在进化过程中，捕食者发展了锐齿，利爪，尖喙，毒牙等有利于捕杀被食者的一整套适应性特征，被食者也发展了隐蔽色、警戒色、拟态、假死、速跑等一系列逃避捕食者的适应性特征，两者形成了复杂的协同进化，使捕食者与猎物能长期共存。从种群的观点分析，捕食者的数量取决于被食者种群数量，捕食者在某种程度上降低了被食者种群数量，调节了被食者的种群密度。

生物群落

【生物群落】一定生境中生活的全部生物（包括植物、动物和微生物）以各种方式彼此作用，相互影响而形成的整体。如一片由多种不同的乔木、灌木和草本植物组成的森林，和生活在森林里面的许多动物和大量的微生物，共同构成一个生物群落；又如，一

根腐烂的树桩，上面生活着多种真菌和昆虫，也可看作是一个生物群落。生物群落中的物种间的关系主要有：（1）营养关系，即一个物种以另一物种或它们生命活动的产物为食，即营养关系。营养关系又分为直接营养关系和间接营养关系。（2）成境关系，即一个物种的生命活动使另一个物种的居住条件发生改变。（3）助布关系，即一个物种参与另一个物种的分布，其中动物起主要作用。在这三种关系中营养关系和成境关系在生物群落中具有最大的意义。是生物群落存在的基础。

【群落特征】群落是比种群更高层次上的群体，具有如下的基本群体特征：群落中物种的多样性，及物种的相对多度，使不同群落的物种异质性不同，形成群落的多样性；群落中植物的生长型决定了群落的外貌及分层结构；群落中的优势种决定了群落的结构和功能；群落有空间格局和时间格局的特征，即有垂直分层和水平结构，有昼夜相和季节相的变化；群落的营养结构决定了生态系统的能量流和物质流。

【优势度】群落中各物种的地位不等，有时一种或少数几种生物就决定了群落的特征，有时则由很多物种决定，常通过重要值和优势度来确定群落中某一物种的优势程度。重要值根据密度、频度、显著度来确定群落中某物种的相对重要性。优势度则根据多度（物种个体数量）、盖度（植物枝叶覆盖的土地面积）、频度（某物种出现的频率占全部物种出现频率的百分数）、高度、重量和体积等多个指标进行综合评定。群落中优势度大的物种即为优势种。优势种决定了群落的主要特征，是群落的创建者和建设者。

【群落演替】在一定地段上，群落由一种类型转变为另一类型的有顺序的演变过程。演替将群落由静态体系转入了动态体系，演替过程亦即群落的发育过程。演替中，最先出现的植物称为先锋植物，这是侵入定居阶段。以后一系列演替发展阶段出现的群落，称演替系列群落，为竞争平衡阶段。最后到达相对稳定的群落称为顶极群落，为相对平衡阶段。例如水生演替系统常开始于水域和陆地环境交界处，由于水生植物和动物带来有机物使池底逐渐变浅，最后变成陆地，包括几个阶段：沉水植物期→浮水植物期→挺水植物期→湿生草本植物期→中生草本植物期→禾本植物顶极期。群落演替的类型，由于依据不同原则，划分也不相同。按其出现在裸地或是在原来已有群落的地方，可分为原生演替与次生演替；按引起演替的原因，可分内因性演替与外因性演替；按演替过程时间的长短又可分地质演替与生态演替；按群落代谢特征，可分自养性演替与异养性演替。群落演替中，还有一些群落有周期性的变化，即由一类型转变为另一类型，最后又回到原类型，称周期性演替。例如苏格兰石楠群落的演替是：石楠→地衣→熊果→石楠。它不同于群落的季节相周期性变化，其周期性演替有4个时期：先锋期、建立期、成熟期和退化期。它是由优势种的生活周期所形成的群落的周期性演替。产生群落演替的原因，与环境不断变化，生物自身不断进行繁殖、迁移和迁徙，物种间的相互作用，由于适应环境而不断产生的新种、亚种、生态型，以及人类活动的影响等有关。

【顶极】群落演替过程中最后出现的成熟、相对稳定的群落，代表了生态演替的顶点。关于顶极群落有三种不同的学说：（1）单顶极学说，为美国生态学家克里门茨所提倡，认为一个气候地区，只

有一个顶极群落,其他一切群落类型都向这唯一的顶极群落发展,这个顶极群落类型决定于当地的气候条件。(2)多顶极学说,由英国生态学家坦斯利(1939)提出,认为任何一个地区都存在着多个顶极群落,它决定于土壤湿度、土壤理化性质、动物的活动等因素。(3)顶极群落—格局学说,是多顶极学说的一个变型,由惠特克(1953)提出,认为自然群落是由许多环境因素(如气候、土壤、生物、火、风等)决定的,在逐渐改变的环境梯度中,顶极群落类型也是连续地逐渐地变化,它们彼此之间难以彻底分开,在演替过程中,最后出现了成熟、相对稳定的群落。

【群落类型】地球上生物群落的类型。可分三大类:(1)陆地生物群落:包括热带雨林、亚热带常绿林、温带落叶林、北方针叶林、旱生林、热带稀树草原、温带草原、冻原、荒漠和极地—高山荒漠等群落。(2)水生生物群落:包括静止淡水(湖泊、池塘)、流动淡水、河口湾、沿岸海和深海等处的生物群落。(3)水—陆过渡性生物群落:包括内陆沼泽(酸沼和普通沼泽)、沿海沼泽(盐沼、热带和亚热带的红树林)等处的生物群落。

【热带雨林】分布于南美洲、中美洲、非洲、亚洲以及澳大利亚东北部、南北纬度 10° 之间的低海拔潮湿热带地区的森林。中国分布在台湾南部沿海、海南岛和广西沿岸,云南、贵州边境。热带雨林的年降雨量超过1800毫米,各月降雨量相近。全年气温变化小,日温差大于年温差,日平均温度在 $21^{\circ}\text{—}30^{\circ}\text{C}$ 之间。热带雨林的层次结构复杂,林木层就有3—4个亚层,占优势的植物是高大的常绿乔木,林冠封闭,有许多藤本植物和附生植物,由于穿透的光线少,地面很暗。热带雨林中种的多样性高,群落生产力很高,有

机物分解迅速，地面堆积的枯枝落叶不多，土壤以红壤为主。热带雨林中动物种类多，尤其树栖动物丰富，但每个种的数量少，动物活动性低，很少有季节迁移现象。代表动物有长臂猿、猩猩、眼镜猴、懒猴、貘、象、犀、牛、豪猪、獾、食果大蝙蝠等，鸟类有鹦鹉、蜂鸟、犀鸟、极乐鸟和咬鹃等。

【亚热带常绿阔叶林】分布在亚热带地区中等海拔、接近于海洋的山区森林。包括中国东南部，日本和美国的东南部。亚热带常绿阔叶林四季分明，年降水量约为 1500 毫米，全年降雨，年平均气温在 13℃ 以上。亚热带常绿阔叶林植物种类丰富，以壳斗科、樟科、木兰科、山茶科、金缕梅科植物占优势。林中分层不多，林下苔藓植物、地衣、蕨类很普遍。攀缠植物和附生植物是常绿阔叶林的特征，并形成了小型动物区系的特征。原始亚热带常绿阔叶林中兽类较多，常见种有黑豹、青鼬、猕猴、短尾猴、赤猴、赤鹿等。大熊猫、金丝猴出现在针阔混交林中。鸟类有杜鹃、噪鹃、太阳鸟。开发林有小鹿、野猪、林麝等。

【温带落叶阔叶林】又称夏绿林。主要分布于北纬 30—50 度的温带地区。分布区一年四季分明，夏季温暖多雨，冬季寒冷干燥。温带落叶阔叶林的植物组成为栎属、槭属、山毛榉属、桦属、柏属、榆属等。林中分层不多，林下草本层发达。落叶阔叶林的季节相变化明显，春天林冠呈嫩绿色，夏季呈浓绿色，秋天为红色或黄色，冬天树叶脱落。林中动物有狍、野猪、马鹿、少量梅花鹿、松鼠、花鼠、小飞鼠等，鸟类以夏候鸟为主。

【针叶林】分布在亚洲、欧洲、北美寒温带广大地区的森林生物群

落。在中国有大兴安岭和阿尔泰山两片森林。在寒带和低纬度的亚高山垂直带，主要代表树种是耐寒的云杉、冷杉和松。林下灌木、苔藓地衣较多，群落层次分化较为明显。在中纬度及山地针阔混交林中，由铁杉属、黄杉属、北美红杉属及松属中的五针松等组成针叶林。由于植被单调，种的多样性低，食料相对单纯，动物种群组成简单，多是喜冷、广适应性的种类，其中不少有冬眠与贮食的习性，大部分鸟有迁徙行为。代表动物有驼鹿、猞猁、紫貂、雪兔、狼獾、红背䟽、林莺、松鸡和鹇。在世界上，中国的针叶林类型最丰富，针叶树中的水杉属、银杉属、金钱松属、水松属、台湾杉属、杉木属、油杉属、福建柏属等为中国所特有属种和子遗珍贵植物。

【温带草原】分布在中等程度干燥、较冷的大陆性气候地区的草原生物群落。如欧亚大陆草原、北美大陆草原、南美草原等。中国主要分布在内蒙古自治区和大兴安岭以西的广大地区。这些地区夏温冬寒，春季和夏末有干旱期，地理位置处于湿润的森林与干旱的荒漠之间。草地中植被分层简单，主要是草被层（多年生禾本草占优势），其高度和密度相差较大，主要取决于降水量。草地经常发生火灾，阻止了灌木与乔木的入侵。草地土壤因腐殖质丰富而肥沃。草原动物中，具有季节性休眠、迁移和冬季贮食习性的种类较多。代表动物有高鼻羚羊、黄羊、野驴、野马、骆驼、黄鼠、仓鼠、跳鼠、草原犬鼠、长耳兔、叉角羚、草原松鸡等。

【荒漠】植物稀少或缺水的干旱地区。分布在海拔中等、纬度在15—35度之间的副热带无风区，除南极洲外的各大洲均有，占地球陆地面积的12%。最大的荒漠是连接亚非两洲的大沙漠，包括

北非的撒哈拉大沙漠、阿拉伯沙漠、中亚沙漠和东亚沙漠（包括了中国的柴达木、准噶尔、哈里木、阿拉善等沙漠）。荒漠的重要特点是极端干旱，年平均降雨 250 毫米（也有少于 20 毫米的），降雨的季节性明显，每年波动较大。荒漠上生长着形态、结构和功能上适应于干旱气候的灌木，如桉属、蒿属、驼绒藜属、沙拐枣属、黄麻属、大戟属、梭梭属、仙人掌科、龙舌兰科等植物。还生长着生命周期短的避旱草本植物。荒漠中有适应干旱的动物，多数种有冬、夏休眠的习性和贮食过冬的习性。啮齿类中夜行性动物较多。代表动物在欧亚大陆荒漠上有三趾跳鼠亚科、沙鼠科、百灵鸟、鹰、隼、猫头鹰等。北美荒漠上有棉尾兔、更格卢鼠、小囊鼠等。南美荒漠上有犰狳、美洲鸵鸟等。澳洲荒漠有袋鼯等。

【水生群落】可分为淡水生物群落与海洋生物群落。由于水中溶解氧、光照强度及营养物质含量不同，前者又可分为静水群落与流水群落，后者可分沿岸海群落及深海群落。静水群落按照生境类型，可分为 3 个连续带群：（1）沿岸带群落，从岸边到深处出现 3 个不同的植物带：挺水植物带、浮叶植物带和沉水植物带。沿岸带群落中动物种类极为丰富，有水平成带分布与垂直成带分布。（2）蔽水带群落，生产者为浮游植物和浮游自养菌，消费者主要为浮游动物和各种鱼类。（3）深水带群落，没有生产者，消费者种类也贫乏，其食物依赖于沿岸带和蔽水带。流水生物群落按其生境也可分急流带、滞水带及河道带，群落中生物分布有明显的纵向成带现象。沿岸海生物群落又称潮间带，有浮游生物（细菌、浮游植物及浮游动物），游泳动物（鱼类、哺乳类、爬行类、软体动物和大型虾类）和底栖生物。深海群落中主要为底栖生物，这些生物产生了耐高压，耐缺氧和对黑暗的生理、形态上的适应性。

【阳性植物】植物对光照强度的一种生态型，为喜光植物，在强光环境中才生长健壮，在荫蔽和弱光环境中生长发育不良。阳性植物多生长在旷野和路边，如蒲公英、蓟、刺苋等；树种中如松、杉、栎、柳、杨等。一般农作物都是阳性植物。阳性植物在形态结构上有一系列特征适应于强光照，如一般枝叶稀疏、透光，自然整枝良好，树皮较厚，生长较快等。茎节间较短，分枝较多，木质部和机械组织发达，结构紧密，含水量少。叶通常小而狭窄，叶面上有很厚的角质层，有的表面有绒毛。叶细胞较小，细胞壁厚，细胞间隙小，气孔小而密，叶肉质化，具厚的栅栏组织、海绵组织不发达。阳性植物的叶在着生排列上，常与直射光成一定角度，以利光照。阳性植物在生理上也表现出适应强光的特性，在太阳直射下，光合速率随阳光的增强而加快，在全光照下有最大的光合强度。耐荫能力减弱，当光照强度减少到全光照的 $3/4$ 时，植物生长不好。补偿点较高，呼吸作用和蒸腾作用都较强，体内含盐分多，渗透压高，抗高温、干旱，抗病害能力亦较强。阳性植物叶绿素含量与叶绿素组成成分均使它适应于强光照。了解掌握植物对光照强度的生态类型，对作物栽培、引种驯化、造林营林等方面具有重要意义。

【阴性植物】喜阴植物。在较弱的光线下比在强光下生长得好，但光线不能低于它的补偿点。阴性植物多生长在潮湿、背阴的地方或者在密林内。属此类的树种有铁杉、红豆杉、紫果云杉、柔毛冷杉等，林下草本植物如酢浆草、连钱草、观音坐莲等。阴性植物表现出对弱光的适应性。树木一般枝叶浓密，透光度小，树皮通常较薄，生长较慢。茎通常细长，节间较长，细胞体积较大，充

满细胞液，木质化程度差，结构疏松，含水量较多。叶子大而宽，较薄，叶面上角质层薄，气孔数较少，栅栏组织不发达。阴性植物在生理上也适应弱光环境：补偿点较低，在适度光照下有最大的光合强度；呼吸作用、蒸腾作用均较弱；体内盐分少，渗透压低；抗高温、干旱、病虫害能力弱。叶绿素含量高，叶绿素组成成分的变化使它能充分利用散射光中的蓝紫光。

【沉水植物】植物体完全浸没在水中，与大气隔离。由于长期适应于水中弱光、缺氧的条件，致使沉水植物的叶片常分裂成带状、线状或很薄，以增加叶片对光、二氧化碳及无机盐的吸收表面积。叶表皮细胞没有角质层和蜡质层，能直接吸收这些物质。由于表皮细胞逐步取代根的功能，根逐步退化或消失。沉水植物适应于弱光，导致叶绿体大而多，栅栏组织极度退化。沉水植物有封闭式的通气组织系统，夜间可贮存呼吸作用释放出来的二氧化碳满足光合作用需要，白天又贮存光合作用释放出来的氧供呼吸作用。体内因存在大量通气组织，增加了植物体积，加大植物漂浮能力。代表植物如金鱼藻、黑藻、狸藻、苦草、茭等。

【浮水植物】叶漂浮水面的植物。又可分为漂浮植物与浮叶固定水生植物两类。漂浮植物的植物体与空气和水接触，依靠水的浮力漂浮在水面，例如槐叶萍、浮萍属、风眼莲等。浮叶固定水生植物的根生长在水底基质，叶浮水面，如菱角、荇菜、睡莲等。浮水植物的气孔长在叶与空气接触的一面上，叶上表皮有蜡质，可保持气孔不被水堵塞。叶的栅栏组织比较发达，但厚度小于海绵组织，维管束和机械组织不发达。浮水植物有完善的通气组织，体内的通气组织构成连续系统，通过这一系统，水下器官可利用浮

水叶片的气孔与大气进行气体交换。这些结构上的特征表现出对水中缺氧的适应性。浮水植物无性繁殖很快，生产率高，人类利用它们生产猪饲料。

【挺水植物】根固定在水底基质中，叶或茎高出水面的植物。如芦苇、香蒲、水烛、莲、阔叶荇等。挺水植物是沉水植物与中生植物的过渡类型，属于“水生植物”。挺水植物有非常发达的通气组织，根、茎、叶内形成一整套相互联结的通气组织系统，空气从叶片的气孔进入后，通过叶柄、茎的通气组织，进入地下茎和根部的气室，形成完整的开放型的通气联络系统，以保证地下各器官、组织对氧的需要，表现出机体结构对水中缺氧生境的适应。

【湿生植物】陆地环境由于水因子的差异，出现了湿生植物、中生植物与旱生植物三个生态型。湿生植物喜欢潮湿环境，不能忍受较长时间的水分不足，是抗旱能力最低的陆生植物。根据生境特征，可分为阳性湿生植物（喜强光、土壤潮湿）和阴性湿生植物（喜弱光、大气潮湿）。阴性湿生植物生长在阴湿的森林下层，如附生蕨类植物、附生兰科植物、海芋、秋海棠等。它们的根系不发达，叶片薄而柔软，海绵组织发达，栅栏组织和机械组织不发达，防止蒸腾、调节水平衡能力差。阳性湿生植物生长在阳光充足、土壤经常处于水饱和的环境中，代表植物如水稻、灯心草、半边莲、毛茛等。它们根系不发达，有与茎叶相连的通气组织，以保证根部得氧。叶片有角质层等防止蒸腾的各种适应。湿生植物抗涝性很强，但抗旱力极弱。

【旱生植物】生长在水分极端缺少、能忍受土壤和大气较长时间干

旱而保持正常生长发育的植物。生长在沙漠、岩石表面、冻土、酸沼或盐渍化的土壤中。根据旱生植物形态—生理特征和抗旱方式，可分为：（1）少浆液植物，是含水量极少的植物，当体内水分减少 50% 时仍不死亡。它们的叶面积小，有的退化成针刺状或小鳞片状（如黄麻），以减少蒸腾量。叶的表皮细胞厚，角质层发达，叶表面披有绒毛，气孔多而下陷。少浆液植物根系发达，如沙漠中的骆驼刺，地上部分只有几厘米，根却深达 15 米，扩展范围可达 623 米。少浆液植物的原生质渗透压高，达 40—60 个大气压，从而保证根能从含水量很少的土壤中吸取水分，有利于在干旱土壤中生存。（2）多浆液植物，植物的根、茎、叶薄壁组织逐渐变为储水组织，成为肉质化器官。由于体内贮有水，生境中又有充足的光照和温度，因而能在极端干旱的沙漠地区长成高大乔木。如仙人掌树高 15—20 米，贮水达 2 吨；西非猴猕面包树，树干粗达 4 人合围，贮水 4 吨多。多浆液植物的表面积（面积与体积比例）小，可减少蒸腾。叶子特征与少浆液植物相似，并都以绿色茎代行光合作用。多浆液植物的细胞内能贮大量水，是因含有一种特殊的五碳糖，提高了细胞液的浓度。并有特殊代谢方式，黑夜呼吸时，碳水化合物分解到有机酸，白天光照下，气孔关闭以减少蒸腾，而有机酸进一步分解，释放出二氧化碳，作光合作用的原料。

【中生植物】生长在中等水湿度、通气良好、营养适度的土壤上的植物。既不能忍受严重干旱，也不能忍受水涝，因此它们的形态结构和生理特征也介于旱生植物和湿生植物之间。中生植物逐步发展和形成了整套保持水分平衡的结构和功能，它们的根系和输导系统比湿生植物发达，保证了能吸收更多的水分。叶片表面有

角质层，栅栏组织比湿生植物发达，细胞渗透压介于湿生和旱生植物之间，能抵抗短期内轻微干旱。叶面宽大，又没有降低蒸腾作用的特殊保护结构，所以蒸腾量较大。叶片的厚度与角质层的厚度、气孔大小和数量都适中，保证了中生植物有较高的气体、水分交换效率和光合作用效率，因此生产量高。自然界中，中生植物数量最大，种类也多，分布最广，如一般栽培的旱作谷物、蔬菜、草地、大多数的阔叶树等。

【食虫植物】能捕捉昆虫及其他小动物的植物，以此作为氮素养料的辅助来源。食虫植物多生长于水分丰富而缺乏氮素的酸性土壤或沼泽，大部分为多年生草本，高不超过 30 厘米，全世界约有 500 种。食虫植物具有捕获昆虫及其他小动物的变态叶（或称捕虫叶），呈盘状（茅膏菜）、囊状（狸藻）、瓶状（猪笼草）等形态，叶面均有分泌消化液的腺体。例如捕蝇草的叶身为圆形或肾形，叶面有触角灵敏的刚毛，边缘也有一行刚毛，当昆虫飞落到叶片上触动刚毛时，叶片和刚毛猛然闭合，同时叶片分泌解脲酶将昆虫消化。猪笼草的叶在延长的卷须上部扩大成瓶状体，瓶口有封闭的盖，盖下面有蜜腺，瓶内壁分泌解脲酶，可诱捕及消化捕获物。

【指示植物】能对环境理化性质的现状及变化趋势或其中某一因子特性有指示作用的植物。例如：石松、苔藓指示土壤为酸性，肉叶刺茎藜指示盐土，仙人掌指示土壤和气候干旱，芨芨草群落指示地下水位接近地面，果松和桧树在铀矿上生长，黄芪属指示硒的存在，海州香薷指示铜矿所在等。地衣、苔藓、紫花苜蓿对二氧化硫污染敏感，可利用它们对大气质量进行监测。水仙花或水仙菖蒲可用作氟污染的指示物，烟草可作臭氧的指示植物等等。

【固着生物】又称水生附着生物。附着在水底基质、或沉水植物、或水中建筑设施等的表面上的植物和动物，营固着生活。包括细菌、原生动物、全部海绵动物、苔藓动物、许多腔肠动物（水螅虫类、珊瑚虫类）、软体动物（牡蛎、贻贝等）、蔓足甲壳类（藤壶、茗荷儿等）、大型藻、硅藻等。固着生物有特化机构——固着器，牢固固着在附着物上，它们的分泌物和排泄物常在附着体上形成致密覆盖层，使粘着牢固。固着动物的运动器官退化，触觉器官发达，被动取食，其幼体为浮游生活，靠海流扩大其分布区域。固着生物在生态系统中占据不同地位：有还原者、生产者与消费者。当牡蛎、苔藓虫和藻类等附着在船底、浮标、工厂排污管或其他水下设施表面时，成为污损生物，带来危害。

【附生植物】附着于其他植物体表面生长的植物，两者间无营养上的关系，只是在定居的空间上紧密联系。一般附生植物定居在树干和树枝上，如苔藓、地衣等，附生在种子植物和蕨类植物上。在热带雨林和亚热带雨林中，有叶面附生植物，如莖青藻、盾藻、扁萼苔、毛地衣、交冠藓、紫杉藓等。附生植物获取水分与养分不同于生长在土壤上的植物，有 3 种方式：（1）具有旱生结构或贮水组织，如兰科植物瓜子金、草胡椒的叶呈块茎状，有贮水功能。有的具有肉质的叶或茎，气根在阵雨时能迅速吸收雨水。（2）植物体或某些器官成窝状或托状，可聚积森林的凋落物，如鸟巢蕨、鹿角蕨等。（3）叶或叶鞘形成槽状或漏斗状，成为收集雨水的贮水器，叶片上具有鳞片状毛，能吸水，其根只营附着作用（如水塔花），或完全无根（如西班牙藓）。随气候环境的不同，附生植物可分 3 种生态型：（1）阴性附生植物，附生在林下乔木树干下

【漂浮生物】生活在水面上或附着在水的表面膜下的生物群，有一定的运动能力。在淡水中的漂浮生物有鼓甲科、龟蝾科昆虫；海水中的有细菌、甲壳纲、蜘蛛纲和昆虫纲动物，偶然有蠕虫、腹足类、水螅类。漂浮生物不同于水漂生物（生活于水气界面，身体部分在水中，部分在空气中），也不同于浮游生物（与水表面膜无联系，或偶尔有联系）。漂浮生物常是浮游动物的食物。

【洞穴生物】生活在洞穴中的动物。广义上也包括了经常进入洞穴，而有规律地返回地面（如蝙蝠，在北方寒冷气候时，入洞穴冬眠）和住在洞穴中，在地面取食（如啮齿目中某些种的鼠）的动物。完全生活在洞穴中，为真正的穴居者。包括洞鲈科鱼、白色螯虾、洞源、穴蛙、盲甲虫、白色无眼扁形虫、双足类、等足类，兽类中的袋鼯科、鼯科、鼯科、鼯科、小犛狵等动物。由于洞穴与地面隔绝，受变化的气候影响小，洞道内环境相对恒定，同时洞内氧分压低，二氧化碳分压高。穴居动物在形态、结构与生理功能上有其适应性表现：体型多为流线型、圆柱型，颈部不明显，前肢或门牙发达，这些特征便于打洞、钻洞；眼睛萎缩，视觉退化，色素减少，外壳或皮肤变薄；触觉器官伸长或变化；穴

居兽无大耳廓，听力与发音独特地转向低频，以利声波在地下传播；有耐受低氧分压和高二氧化碳分压的整套生理适应机制与代谢机能。

生态系统

【生态系统】在一定空间中栖居着的所有生物与其环境之间由于不断地进行物质循环和能量流过程而形成的统一整体。生态系统有 4 个基本组成成分：（1）非生物环境，包括参加物质循环的无机元素和化合物；无生命的有机物质——蛋白质、糖及脂肪等；气候及其他物理因子。（2）生产者，为绿色植物。（3）消费者，草食动物、肉食动物、腐食动物等。（4）分解者，为微生物。生态系统中的生物种类、种群数量、种群空间配置以及种群的时间变化等，构成系统的形态结构。食物链（和食物网）组成的营养结构，把生态系统的各组成成分相互联结成一个整体。太阳能由绿色植物光合作用转变为生物能，通过食物链流向动物和微生物，水和营养物质（碳、氢、氧、氮、磷、硫等）也通过食物链不断地合成与分解，在生物与环境之间反复地进行着生物地化循环。系统内的物质循环、能量流动和信息传递是生态系统的基本功能。生态系统具有发育、繁殖、生长及衰亡等特征，表现为幼年期、发展期与成熟期等阶段，从而产生系统的演替。结构和功能的统一，控制着自然生态系统的生产力、生物量及对环境干扰的自动调节能力。对生态系统的研究关系到合理开发，利用生物资源，以及对自然环境的维持和保护。

【生产者】生态系统营养结构组成成分之一。主要功能是固定能量，把简单的无机物合成复杂的有机物质，使生产者生物量增加，因此生产者为自养生物。地球上最主要的生产者是绿色植物，即藻类和高等植物。在太阳照射下，叶绿体进行光合作用，将二氧化碳和水合成葡萄糖，进一步合成氨基酸、蛋白质、脂肪酸、维生素、色素和辅酶等。自然界中营自养生活的还有光合细菌，如绿硫细菌、紫硫细菌和非紫色硫细菌等。在光照下，光合细菌将二氧化碳和无机硫化物（如硫化氢）合成糖类。光合细菌多是水生的，能在不利于绿色植物生存的环境中（透光但缺氧）合成有机物。虽生产量不大，但对水体中的某些矿质循环（如硫）有一定意义。化学合成细菌（如硫细菌、氮细菌）视为生产者，它们介于自养生物与异养生物之间，不是从日光获能，而靠氧化无机盐化合物获能，如将氨转为亚硝酸盐，将硫化物转为硫酸盐等取得能量，进行细胞合成，所以常被称为化能自养者。这两类细菌对生态系统的生产量起作用不是很大。起主要作用的是绿色植物，每年地球上通过光合作用能生产出约 1 千亿吨有机物质。

【消费者】生态系统组成成分之一。不能直接从无机物制造有机物，而是直接或间接依赖于生产者所制造的有机物为生，又称噬养者、摄食者。属于异养生物。消费者按其营养方式分为：（1）食草动物，直接以植物为食，如草食性昆虫，食草性哺乳动物，池塘中的浮游动物，某些底栖动物（如环节动物等），为一级消费者。（2）食肉动物，以食草动物为食，如吃浮游动物的鱼，草地捕捉食草动物的鸟、兽，为二级消费者。（3）大型食肉动物或顶极食肉动物，以二级消费者为食，为三级消费者，如池塘中的黑鱼或

鳊鱼，草地上的鹰隼等。(4) 杂食动物，既食动物，也食植物，如猫、狗、熊等，人类也属此类。(5) 腐食性动物，食动植物尸体，并制造一种新的复杂有机物——腐殖质，有肥沃土壤的作用，豺、秃鹫、鬣狗、蚯蚓、白蚁等可作这类代表。生态系统中，消费者的主要功能是直接或间接摄食植物已制造好的有机物质，通过消化，吸收，再合成自身需要的有机物质，增加动物的生产量。这也是一种生产过程，称次级生产。

【分解者】生态系统组成成分之一。属于异养生物，小型消费者。又称腐养者、渗养者或吸收者，主要是各种细菌及真菌。它们将动植物的尸体和各种排泄物加以分解，释放出二氧化碳、氨、硫化氢及所含的各种离子到环境中，供生产者植物重新吸收利用，同时自己也得到了能量。分解者在生态系统中的作用极为重要，如果没有分解者，动植物尸体将会堆积成灾，物质不能循环，生态系统将毁灭。分解过程是一系列复杂的过程，不是一类生物能完成的，各个阶段由不同生物完成。如细菌、酵母和霉菌可能同时参加，也可能先后交替出现。细菌在分解动物肉体中比较重要，真菌在分解木质上更重要。除了细菌、真菌分解者以外，土壤动物如原生动物，螨类、线虫类、蜗牛、蚯蚓、千足虫等均在分解过程中起一定作用，也属分解者。

【食物链】又称营养链。生态系统中各种生物按其摄食关系而排列的次序。植物是食物链的起点，链中每一环节的生物以前一环节的生物为食。例如水体生态系统的食物链是：浮游植物→浮游动物→食草性鱼类→食肉性鱼类。草原生态系统中的食物链是：草→兔→狐狸；草→蝴蝶→蜻蜓→蛙→蛇→鹰。通过食物链把生态

系统的组成部分连成一体，完成物质循环与能量流转。食物链上每一环节称营养级，食物链通常只有 4 至 5 个营养级。生态系统中的食物链不是固定不变的，它随动物的个体发育不同阶段，食物的季节变化及环境变化而改变。在种类多、结构复杂的生态系统中，食物链的变化不会出现大的影响，但在有些情况下，食物链的某一环发生改变，可能影响到生态系统的结构。食物链基本上分两类：（1）牧食食物链，从绿色植物开始，到食草动物、食肉动物、大型食肉动物。（2）腐食食物链，又称碎屑食物链，从死亡的有机体开始，到微生物为止。寄生食物链在生态系统中是辅助食物链。不同类型食物链在各种生态系统中作用不同，海洋生态系统中，牧食食物链起重要作用；森林生态系统中，腐食食物链具有重要作用。在自然界中，食物链还起着生态浓集作用（或称生态扩大作用），亲脂肪一类有毒物质，最初浓度很低，随着食物链营养级的升高而积累增加，最终可增加上万至百万倍，而危害最高营养级的生物。

【食物网】食物链反映了生态系统中各生物成员之间的营养关系。每一种生物都可能成为其他几种生物的食物，不可能固定在某一食物链上。如牛、羊、兔、老鼠都可食青草，青草可能与四条食物链相连。黄鼠狼捕食老鼠、鸟、青蛙等，它本身又可能被狐狸和狼捕食。同一种生物可能处于不同的营养级上，出现在几条交叉的食物链上。生态系统有着复杂而繁多的食物链，这些食物链彼此交错连结，形成复杂的营养网络，即食物网。近 10 余年来，科恩和皮姆的食物网理论研究，对于描述、解释和预测群落或生态系统的营养结构具有重要价值。

【生态效率】用于生产力生态学研究中的一种指标。估计食物链上各环节间的能量传递效率,是能流过程中不同点上能量之比值。生态效率分两类:某营养级与前一营养级之比,即营养级间之比;同一营养级内不同阶段之比。最重要的生态效率有:(1)同化效率,动物摄食后同化了的能量与摄入能量之比。(2)生产效率或生长效率,形成新生物量的生产量与同化量之比。(3)利用效率,某营养级摄入的能量占前一营养级的净生产量的百分比。(4)林德曼效率,某营养级所获得的能量占它前一营养级获得能量之比,它相当于同化效率,生长效率和利用效率的乘积。各种效率在不同物种中是不等的,如同化效率在食草动物和碎食动物中较低,在食肉动物中较高。生产效率在无脊椎动物很高,占30—40%,在恒温动物中很低,仅为1—2%。林德曼效率大约是10—20%,即能量沿着食物链流动时,后一营养级获得能量大约为前一营养级能量的10%,约有90%能量在能流过程中丢失,这就是通常所称的十分之一法则。因此,食物链越长,消耗于营养级上的能量越多。

【林德曼效率】见“生态效率”。

【生物量】在某一特定观察时刻,某一空间范围内的生物个体数量、重量或含能量。是一种现存量,不含时间单位。这是生产力生态学研究中的概念。生物量不同于生产量,后者指一定时间阶段中,某个种群或生态系统新生产出的有机体的数量、重量或能量。生物量大的系统,生产量不一定高,反之亦然。在某一段时间内,系统的生产量(P)等于生物量的变化(ΔB)与减少量(E,如死亡、迁出)之和,即 $P = \Delta B + E$ 。由公式可见,当生产量与减少量相等

时，生物量稳定不变。

【生态系统能流】生态系统中的能量流动是通过食物链完成的，能量流动从绿色植物的光合作用将太阳能转换为生物能开始，流经各营养级，直到分解者分解为止，实际上是一个能量的消耗过程。例如到达地面的太阳辐射能有一半被绿色植物吸收，其中大部分变成热而散失（蒸腾作用），只有少部分用作光合作用，形成有机物，称总初级生产量。形成的有机物一部分用于植物呼吸消耗，剩余部分增加了植物的生物量称净初级生产量。净初级生产量中被食草动物吃掉的部分称摄食量或消耗量（C），其中大部分被动物同化（A），未同化的作为粪便排出体外（FU），被分解者利用。同化的一部分用于动物的呼吸消耗（R），剩余的同化能即为次级生产量（P），可供二级消费者使用（以后各营养级能量流动大致相似于食草动物）。通过食草动物营养级的能流就是同化量，即 $A = R + P$ ，同化量小于摄食量 $C = A + FU$ 。食草动物为高一营养提供的能量 P 更低于摄入能量 C。因此，生态系统的能量是沿食物链方向，单向的、递减的流动。所以生态系统必须不断由外界获取能量。不同生态系统有不同的能流特点，比较森林、草地、海洋（或湖沼）和溪流（或小池塘）等 4 类生态系统的能流，可以看出：

- （1）森林、草地生态系统，净初级生产量主要是通过分解者亚系统渠道，因此分解者的呼吸失能明显地高于消费者。
- （2）在浮游生物为主的湖泊或海洋生态系统中，消费者作用最大，因而净初级生产量通过牧食链的量小，同化效率高。
- （3）溪流或小池塘通过消费者亚系统的能流很少，因为大部分能量来源于陆地生态系统输入的死有机物。深海底栖群落与小池塘相似，能量来源于上层水体的残屑。

【生物地化循环】在生物圈内，各种化学元素沿着特定的途径，从环境到生物体，再从生物体回到环境，往返不断地循环。生物体生存需要各种物质，涉及 30—40 种元素，包括常量元素如碳、氧、氢、氮、磷、硫、钾、钙、铁等和微量元素如铝、硼、锌、锰等。这些元素及其组成物质沿着食物链，由环境进入植物，再流入各类动物，有些元素进入组织后，经过上千种形式在其中进行转移。最终，生物死亡，经过分解者作用，这些元素又回到环境中，再度被植物利用。生物地化循环分两种基本类型：（1）气体型循环，元素贮存库在大气或海洋，气态循环把大气和海洋紧密地联系起来，具有明显的全球性循环性质。属此类的有氮、二氧化碳、氧、水等循环。（2）沉积型循环，元素的贮库是土壤圈、岩石圈、沉积物。主要通过分解作用和岩石风化作用，转变成生态系统可利用的营养物质，因此这类循环是缓慢的，非全球性的，不完全的循环。属此类的有磷、硫、碘等循环。

【碳循环】碳元素通过二氧化碳在大气和生物中的循环。为气态型循环。碳是生物体中的基本成分，所有生物体中的碳来源于二氧化碳，植物在碳循环中起着重要的作用。植物将二氧化碳固定在有机物中，包括合成糖、脂肪和蛋白质，贮于植物体内。食草动物吃了后，经消化、合成，再通过一个个营养级。在这些过程中，随生物呼吸作用又将二氧化碳送回大气。动物排泄物和动植物尸体中的碳，经过分解者作用又回到环境中。水体中情况与陆地相似，但有些动植物尸体沉入水底，暂时离开循环，经过地质的年代，又成为石灰岩，有的还转化为化石燃料（石油、煤、泥炭）。当岩石风化、化石燃料燃烧及火山爆发时，又将碳变成二氧化碳

释放到大气中。

【氮循环】自然界的氮及氮素化合物在生物作用下的相互转化过程。氮是蛋白质的基本成分。空气中氮占 79%，但不能直接为生物所利用，必须通过固氮作用，将氮转变成硝酸盐、亚硝酸盐或氨，方能被生物吸收。固氮作用有 3 条途径：（1）通过闪电、宇宙线、陨星冲击波、火山活动等高能固氮，使空气中氮与氧作用形成氨或硝酸盐，随降雨到地面。（2）生物固氮，由固氮菌与豆科植物共生的根瘤菌、某些蓝绿藻、一些自养和异养的微生物固氮。据估计，一年的生物固氮量大约是高能固氮的 8 倍。（3）工业固氮，其产量日益增加，70 年代末的产量约等于全部陆生生态系统所固定的量。植物从土壤中吸收氨和硝酸盐，转化成氨基酸，再转到消费者动物。动物排泄物及动植物尸体被分解者分解，又放出氨，再被植物利用，周而复始。随淋洗由大陆流入海洋中的氮，部分作为海产肥料而还原，但大部分不能被陆生植物利用。这种损失得到生物固氮和高能固氮的补偿。因此氮循环是一个完全自我调节系统的气态型循环。人类对氮循环的影响主要是排出各种氧化氮污染大气，过量硝酸盐污染水体。

【磷循环】磷是有机体不可缺少的重要元素，高能磷酸键是细胞内能量的来源。磷通常没有气态，随着水循环，由陆地到海洋。磷的主要贮库是岩石和天然的磷酸盐沉积。岩石和沉积通过风化、侵蚀、淋洗而释放出磷，在土壤中形成可溶性磷酸盐，被植物吸收，合成原生质。通过食草动物、食肉动物、寄生生物在生态系统中流动。动物排泄物和动植物尸体中的有机磷，经细菌还原为无机磷，又回到环境中。其中某些被植物吸收再循环，有些留在土壤

表层，常被侵蚀而带入海洋与湖泊，不再参与陆地循环。磷在海洋与湖泊系统的生物间流动速度较快，随着动植物尸体的沉积，一部分磷沉积浅层水底，一部分沉积于深层。沉积于海底的磷，离开循环而贮存起来，因此磷是一个不完全的沉积型循环。虽然海鸟（鸟粪）与海鱼能补偿回一部分，但天然风化与侵蚀不能补偿每年进入海洋沉积起来的磷，使土壤磷肥造成“饥荒”。

【硫循环】硫是蛋白质和氨基酸的基本组成成分。硫循环属沉积型，也属气态型。既有束缚在有机和无机沉积中的硫（长期沉积相），通过风化和分解而释放，以盐溶液形式进入陆地和水体生态系统，又有气态硫参加循环，因此是全球规模上的循环。含硫矿石燃料燃烧、火山爆发、岩石风化、有机物分解等均可产生气态硫，进入大气。初始态为硫化氢，很快氧化成二氧化硫，溶解于水，随降水到地面，成弱硫酸盐。被植物吸收后，合成到氨基酸（如半胱氨酸）与蛋白质中，再由生产者转到消费者。动物的排泄物和动植物尸体经过真菌与细菌分解，使有机硫又转变成硫化氢、二氧化硫或硫酸盐，进入再循环。人类对硫循环的影响很大，每年燃烧化石燃料向大气输入二氧化硫近 1.5 亿吨。当大气中出现高浓度二氧化硫时（0.07ppm—0.08ppm）将对生物和人类带来伤害。

【富化作用】由于人类的活动，使家庭生活的污物、过多的农业肥料及畜牧业的粪尿流入水体，使水中氮、磷浓度升高。输入过多的氮、磷，使江河、湖泊、河口出现过度肥沃，致使分解者细菌等生物大量繁殖，消耗大量氧，水中溶氧量降低，甚至严重缺氧，使鱼类和其他水中动物难以生存，造成大量死亡，此即为富化作

用。在富化水体中，水体底部更缺氧，因此缺少底栖生物。富化作用对人类是不利的，属于环境污染的范畴。

【生态平衡】又称自然平衡。生态系统处于顶级稳定状态，即处于成熟期的相对稳定状态。在这种状态下，系统的能量与物质的输入和输出相平衡，即系统中的生产过程和消费、分解过程处于平衡状态，系统的能量流动和物质循环长时间保持着平衡。因此生态系统的各组成成分之间，处于相互制约的动态平衡状态，动植物数量保持相对稳定，这时的食物链较长，网络比较复杂，系统的外貌、结构都保持着相对稳定的协调状态。系统中的有机体个体数目最多，生物量最大，生产力也最大。当系统受到外界干扰，但不超过一定限度时，系统有自我调节能力，能自动恢复某些受破坏的结构和功能。生态平衡是在长期进化中产生的适应性结果，是动态的平衡。但由于人们对“生态平衡”的理解各异，甚至有人认为生态系统的变化运动、不平衡是绝对的，因此避免使用“生态平衡”一词，改用生态系统的稳定性或生态系统的稳态的术语。生态系统的稳态取决于一系列因素：生态系统进化历史的长短；生物种的多样性；它们的数量、种间相互作用的特征和强度；系统受干扰的性质，干扰的大小；干扰的持续时间；以及估计稳定性的两个指标：抵抗力与恢复力等。例如，热带雨林生态系统结构复杂，物种多样性高，种间相互作用多而密切，进化历史长，其环境条件相对地比较稳定，可预测性强；苔原生态系统结构简单，物种多样性低，种间相互作用少，进化历史短，其环境条件多变而难以预测。两者比较，热带雨林抵抗干扰和保持系统稳定状态的能力比苔原系统强。但是一经严重破坏，热带雨林生态系统恢复所需时间远较苔原生态系统为长。从抵抗力稳定性来看，热

带雨林较苔原系统为高。从恢复力稳定性来看，苔原生态系统较热带雨林生态系统为高。可见，具高抵抗力稳定性的生态系统，其恢复力稳定性是低的，反之亦然。

【生态失调】生态系统具有自我调节和自我维持的能力，使系统保持稳定的状态，表现出结构上的协调、功能上的和谐、输入和输出的物质和能量的平衡。当外界干扰与破坏超过了生态系统自身的调节能力时，就导致该系统生物种类和数量发生变化，生物量下降，生产力衰退，营养结构破坏，食物链关系消失，金字塔营养级紊乱，使结构和功能失调，物质循环、能量流动与信息传递受到阻碍，从而引起逆行演替，破坏了生态系统的稳定性，造成生态失调。这种外界干扰有自然的和人为的，例如森林生态系统中的自然灾害，毁灭了森林。人对自然资源不合理的开发利用，导致生态系统结构和功能的严重破坏，导致系统的稳定性丧失，全球多处出现森林覆盖面积减小，草原退化，水土流失，水源枯竭，河流干涸，土地沙漠化、盐渍化，野生动植物种类趋于绝灭，环境污染，环境质量恶化，气候异常等现象。如 20 世纪 30 年代，美国西部由于滥垦滥牧，植物遭破坏，导致三次“黑色”风暴发生。中国榆林原是一片郁葱的森林和草地，由于开荒，破坏了原系统的稳定状态，导致沙漠生态系统取代了森林生态系统。生态系统失调主要是人为造成的，应该引起人们的高度警惕。

【人工生态系统】受人类影响和控制的生态系统。人工生态系统的边界一般比较明确，它的最大特点是需要人工输能，如农业生态系统补加了燃料、人力、畜力、肥料等，其功率可达 10000—40000 千卡/米²/年。城市生态系统的能量来源主要是化石燃料，其功率

达 100000—3000000 千卡/米²/年, 比太阳供能系统高出几个数量级, 所需要的粮、油、肉, 奶及化石燃料, 必须靠周围农业和自然生态系统输入。人工生态系统的主体不同于自然生态系统, 如农业生态系统的主体生物, 主要是农作物。城市生态系统是以人类为中心, 人口密集, 而动植物比例不大。人工生态系统是受控系统, 按照人类的愿望改变着系统。如农业生态系统栽种作物、果木, 养家禽家畜, 使物种多样性下降, 而输出大量农产品。城市的住房、交通、工业都是人造的, 它必然影响了城市的气候、土壤和植被。

【生态系统发育】生态系统从幼年期到成熟期的发育过程。或称生态系统的演替。这一发育过程中, 重要的结构和功能特征都发生了变化: (1) 生态能量特征: 幼年期的生态系统生产量高, 总生产量与群落呼吸量之比大于 1 (自养演替过程); 成熟的生态系统两者之比接近 1。(2) 食物网特征: 幼年期系统的食物链结构简单, 往往成直线状, 以牧食食物链为主; 到成熟期, 食物网结构复杂, 大部分能流通过腐食食物链, 对环境干扰具有较大的抵抗力。(3) 营养物质循环上的特征: 主要营养物质如氮、磷、钾、钙等的循环, 在幼年期为开放性的, 到成熟期变为封闭性的, 即丧失量少, 输入和输出接近平衡。(4) 群落结构特征: 在演替过程中, 物种多样性增加, 生化学物质多样性增加, 分层和空间异质性增加, 种间竞争激烈, 导致生态位分化, 物种生活史复杂化。(5) 选择压力: 在幼年期, 多具高生殖潜力物种 (r -选择者); 在稳定期, 竞争力强的物种占优势 (k -选择者)。(6) 稳态、成熟阶段, 生态系统达到稳定状态, 各物种数量、种间相互关系、生物量、能流、物流、信息流都是都处于相对稳定状态, 并有自我调节、自我修复、

自我维持和发展的能力。生态系统的发育遵循着一定的程序，是系统内外因素作用的结果，发育的趋势是增加了稳态。生态系统发育的理论，对人类土地利用的规划，有着重要的意义。

【生物圈】地球上各种生态系统的总和，包含地球上的全部生命和一切适合于生物栖息的场所。它的范围包括岩石圈的上层、全部水圈和大气圈的下层。岩石圈是所有生物的立足点，岩石圈的土壤中分布着大量微生物、无脊椎动物和掘土的脊椎动物，以及植物的根系。大多数生物生长在土壤上层几十厘米之内，最深的在地下 2500—3000 米，生长着石油细菌。水圈中到处有生命，主要集中在表层与浅水的底层。大洋最深处 11000 米，有深海生物。生物集中在大气圈的下层，与岩石圈的交界处。生物圈是地球上最大的接近自我维持的生态系统。各种植物利用太阳辐射能合成各种有机物，成为人类和各类动物的食物。生物圈的生产力就是组成生物圈的各个生态系统的生产力之和。生物圈中的能流和物流也是相伴而行的。气态营养物易在生物与环境之间循环，而可溶性物质有一部随水流由陆地沉入海底，离开了循环。在生物圈中，人占据统治地位。人类正按照自身的需要改造着生物圈，但这种改造有一定限度，超过限度就会破坏生物圈的动态平衡，造成严重后果。

生物对环境的适应

【生态型】同一物种因适应不同生境，产生了结构上或功能上差异

的不同类群。这是由于生物种的地理分布范围很广，生物的生境不同，使生物产生适应其生境的遗传特征，形成了地方种群。不同生态型表现出形态、生理与遗传等特征上的差异，但可以相互杂交，产生有生育力的后代。如白鹿鼠 (*Peromyscus leucopus*) 的 6 个生态型在能量代谢与体温调节上有明显不同。“生态型”最早由瑞典植物学家图尔森提出。生态型的研究有利于种群理论研究的深入，也为选种、引种、育种工作提供理论依据。

【警戒色】某些动物体表具有对捕食者起提醒和警告作用的颜色。这些动物含有毒腺、毒刺或奇臭腺体。这是捕食者与猎物在长期的协同进化过程中，猎物产生的保护性适应。警戒色可以对捕食者引起注意与警告，使曾吃过这种色彩猎物的捕食者见了警戒色就走而回避。黄蜂、蛤蟾、蝾螈、毒蜥，臭鼬等动物都有警戒色。

【保护色】普遍存在于自然界，以昆虫最为发达。动物适应栖息环境，产生的与环境相适应的色彩，形成一定的隐蔽效果，避开敌害。例如不同生境中的蝗虫体色与其生境色彩一致，比目鱼随环境色彩改变自己的体色，鱼类背部色深腹部色浅也利于水中隐蔽。

【拟态】一种生物在形态、行为等特征上模仿另一种生物，逃避了天敌而获益的生态适应现象。如绿竹上的竹节虫，蝇类和蛾类模仿蜜蜂和黄蜂，可逃避鸟的捕食。拟态可分两类：(1) 贝茨氏拟态，可食动物模拟不可食动物（具有警戒色动物），如许多蛱蝶的体色像不可食的斑蝶。(2) 缪勒氏拟态，具有警戒色，不可食的两个物种互相模拟，这类模拟更加强了对天敌的逃避。

【盐腺】生活在海洋中的肺呼吸脊椎动物，对海洋高盐度产生的适应性器官。盐腺能分泌高浓度的盐液。当动物吃高盐食物后，血液盐浓度升高，其渗透压超过某一临界值时，盐腺开始往外分泌体内多余的盐，以维持正常的体液渗透压。盐腺的开口部位在各种动物中有所不同，如海鬣蜥的盐腺为鼻腺和侧鼻腺，海蛇为舌下腺，海龟为围眶腺，海鸟为鼻腺。陆生鸟类也有鼻腺，但体积小，不发达。

【冬眠与夏眠】动物对环境温度的生态适应性行为。高纬度的温带，冬季寒冷，食物缺少，动物进入冬眠可以节省能量，有利生存。冬眠有两种类型：（1）外温动物冬眠，又称蛰眠，如两栖类、爬行类的冬眠。没有外界加温，动物不会自发觉醒，环境温度过低后，动物就冻死。（2）内温动物冬眠，动物在冬眠过程中，能自发地觉醒，威胁动物死亡的过低温度及适宜刺激，会导致冬眠状态的动物觉醒，动物体内产热量聚增，在短期内体温上升，一切恢复常态。冬眠期，动物表现为全身处于麻痹状态，心率可降低到每分钟 5—6 次，呼吸降到每分钟 1 次，代谢率比正常状态下低几十倍，动物体温可接近 0°C 。因此内温动物的冬眠不是失去体温调节能力，而是一种更为精细的体温调节控制，本质上不同于外温动物冬眠。为了区别于前者，特称它为适应性低体温。适应性低体温出现在啮齿目、食虫目和翼手目动物中。夏眠是动物度过干燥炎热的夏季的一种适应，出现在昆虫（又称夏蛰）及哺乳类的黄鼠属中。

自然资源的 合理利用与保护

【生物资源】能为人类生活直接或间接提供原料、食品和其他效益的生物的总称。包括了农作物种植资源、家禽、家畜品种资源、植物资源、动物资源、淡水鱼类资源、海洋鱼类及海产品资源、经济真菌资源等。生物资源的特点是有众多的物种，并能通过自我更新而反复利用的可再生资源。生物资源既有其资源性的一面，也可以作为一个条件，影响水、土、气候资源的形成和演变。生物资源只有在科学管理和维护下才能够更新再生，才能使产量最大，并得到最大持续产量。当对生物资源利用过度，超过了生物资源本身的负载能力，将使大量物种绝灭，人类就将失去这些宝贵的资源。

【珍稀濒危植物保护】珍稀植物资源是人类的宝贵财富，给人类提供了直接的经济价值，并具有涵养水源、保持水土、改良土壤、防治污染、调节气候、美化环境等生态效益。同时它也是自然界野生植物基因库的重要组成部分，是培育新品种的重要基础。中国的珍稀植物资源非常丰富，有不少是中国特有或世界上著名的贵重木材树种。第四纪冰川期，欧亚美遭受冰川覆盖，使很多植物绝灭，而中国大部分地区受冰川影响小，许多古老的植物，如孑遗植物类群及发生上属于原始的或孤立的类群得以被保存下来，并产生了一些新的种类。如银杏、水杉，银杉被称为活化石，金钱松、台湾松、白豆杉、珙桐、香果树、昆栏树、连香树、鹅掌

秋等均为古老树种。由于过去对珍稀植物保护不够，使其日益减少，有的甚至濒于绝迹。因此，国务院环境保护委员会于1984年7月公布了中国第一批354种“珍稀濒危保护植物名录”。被列为一级保护植物的，中国特产、稀有、珍贵并受到威胁的8个物种：金花茶、银杉、桫欏、珙桐，水杉、人参、望天树及秃杉。二级有143种（苏铁、巨柏、银杏等），三级203种（冷杉、黄杉、翠柏等）。为了保护好野生、珍稀植物资源，中国已制定了保护资源的法律，并加速了自然保护区的建设，加强管理、加强对森林和各自然景观的保护。并对珍贵濒危物种进行生态、生理、遗传等方面研究，建立野生植物引种保存基地255个（到1988年底），积极保护和发展这些珍稀植物资源。

【珍稀濒危动物保护】珍稀野生动物是指在经济、科学、文化、教育等方面有重要意义，而现存数量稀少的动物。珍稀动物根据生存受威胁的状况可分为绝灭种、濒危种、易危种、稀有种和未定种等。中国由于独特的自然条件及演化历史，大部分地区在第四纪冰川期时受冰川影响小，使许多古老动物保存下来，因此中国特产动物和珍稀动物很多，如大熊猫、金丝猴、白唇鹿、褐马鸡、黑颈鹤、黄腹角雉、扬子鳄等均为中国特有，经济价值高的有鹿、麝、麂、黄羊等种类，资源十分丰富。1988年12月国务院批准，国家重点保护野生动物共257种，一级保护动物96种（大熊猫、金丝猴、朱鹮、黄腹角雉、扬子鳄等），二级保护动物161种（小熊猫，大鲵、胭脂鱼等），确定了对珍贵濒危野生动物进行严格保护的各种法律制度 and 具体措施。这些保护动物中有不少种类已被国际组织列为世界性的保护对象。目前大量动物的濒危或绝灭主要由人类的各種生产活动造成，如森林植被的破坏，工业化和城

市化的发展，过分的采伐利用和乱捕滥猎，环境污染等。为了保护好野生动植物资源，中国已加强了对自然景观，自然保护区的保护和管理，并在全中国建立野生动物人工繁殖场 227 个（1988 年底），对挽救、保护一部分珍稀濒危野生动物起了积极的作用。

【中国自然保护区】自然保护区是指人类对一些具有代表性的生态系统，或濒危物种生存的环境及自然历史遗产的地方，划出固定范围进行保护和管理，并有立法保障的特殊地域。自然保护区的意义在于：保存了生态系统的天然“本底”，使之成为科学研究的天然实验室，生物种群的自然贮存库，活的自然博物馆和旅游的好场地。中国自然保护区在近 10 年来得到迅速发展，在森林、草原、湿地、湖泊、荒漠、海洋等不同类型地域，建立了以保护典型综合生态系统、珍稀濒危生物物种、自然遗产（地质地貌）、自然风景、资源管理等多种多样的自然保护区。到 1990 年，全国共有各种类型的自然保护区 606 处，总面积占国土面积的 4%。其中国家级自然保护区有 56 处，长白山、武夷山、卧龙、梵净山、鼎湖山、锡林郭勒草原自然保护区等 6 处加入了世界生物圈自然保护区网。保护区的建立，有效地保护了自然环境与一些濒危物种，使 6000 多种动物和 1000 多种植物得到保护。

【国际生物学规划 (IBP)】IBP 是 International Biological Program 的缩写。1963 年，人们以国际科学联合会理事会的名义制定了一个规划，名称为“生产力的生物学基础和人类的福利”，其目的是在全世界范围内研究：（1）陆地、淡水水域和海洋中生物的生产力，并探索已知的或新的自然资源的潜力及利用。（2）人类对变化环境条件的适应性。这就是“国际生物学规划”，持续了 10 年。

并由各个委员会分管 7 个方面的工作：（1）陆地群落的生产力；（2）有机物生产的生态生理过程（主要是光合作用和固氮作用）；（3）陆地群落的保护；（4）淡水群落的生产力；（5）海洋群落的生产力；（6）人类的适应性；（7）生物资源的规划、管理和利用。由此可见，IBP 是以自然生态系统的物流、能流为主要研究对象的。

【生态规划】按照生态学的原理，对某地区的社会、经济、技术和生态环境，进行全面的综合规划，以便充分有效和科学地利用各种资源条件，促进生态系统的良性循环，使社会经济持续稳定地发展。生态规划是在 20 世纪 60 年代提出，已得到了迅速的普及与发展。很多人把社会学、经济学和生态学融到一起，来探讨生态环境和生态规划。中国生态学家马世骏 80 年代初提出社会—经济—自然复合生态系统的理论，丰富了生态规划的内容，是生态规划理论和实际联系的桥梁。生态规划要解决的中心问题是人类社会生存和持续稳定的发展。这个问题涉及到社会、经济、技术、生态环境、人类心理和行为等各个方面，牵涉到多个领域。因此，制定一个好的生态规划，需要诸多方面、多领域的人员共同参与，即多学科的知识有机地融合在一起。因此，生态规划的发展趋势是高度综合化和走向定量的模型化（生态规划现在已发展成为多目标、多层次和多约束的动态规划，这要求有高度综合的定量研究方面与它相适应），生态规划所涉及的区域越来越大，已从一个地区到一个国家，并发展到全球范围。由于人类活动造成的各种危机，如环境危机、发展危机、能源危机等，不是靠一个地区或一个国家所能解决，只有全世界统一行动才能成功，因此，生态规划的空间范围不断扩大。国际生物学计划、人与生物圈规划、国

际地圈与生物圈规划都体现了在探讨人类持续发展方面的努力。

【生态工程】应用生态系统中，物种共生与物质循环再生原理和结构与功能协调原则，结合系统工程的最优化方法，而设计的分层多级利用物质的生产工艺系统。其目标是在促进自然界良性循环的前提下，充分发挥资源的生产潜力，防止环境污染，达到经济效益与生态效益同步发展。生态工程是在 20 世纪 60 年代以来出现全球生态危机，人们寻求解决对策和强调资源环境保护的背景下应运而生的，是应用生态学中一门多学科渗透的新分支边缘学科。虽只有 30 年的历史，但其发展极为迅速。国外与生态工程研究有关的是替代农业研究与环境工程研究。自 70 年代以来，西方发达国家发展了多种形式的替代农业，主要包括综合农业、再生农业、有机农业、持久农业、生物农业、生物动力农业和自然农业等类型。各种替代农业都强调要充分发挥农业生态系统中的生物过程，利用生物种间相生相克关系，调动共生互利关系和自我调节能力，强调运用生态系统中的能量转化和物质循环关系，来维持和优化系统功能的作用。环境工程主要是环境保护与污染物处理和利用的生态工程。中国生态工程研究已在资源管理、环境保护、工农业生产、城市建设和重大工程建设中得到广泛应用。由于中国是世界上最大的农业国，有数千年精耕细作的农作传统和经验，因此中国的农业生态工程可说是对中国传统农业精华的总结和发展。表现在：（1）充分利用空间和资源的立体结构系统，如农作物的轮作、间作和套种、农林间作、林药间作等。（2）相互促进的物种共生系统，如稻田养鱼、莲鱼共生等。（3）生物物质多层次，多途径利用系统，如桑基鱼塘，种植业和养殖业相结合。（4）多功能农工商联合生产系统，结构包括了农、林、牧、副、渔，

是现代农村建设的模式之一。据不完全统计,到 1988 年底,全国已建各种类型的不同规模的生态农业县、乡、村 1200 个,创造出许多优化农业生产的模式和一批经济、生态效益俱佳的典型。中国环境保护生态工程也取得较快进展,如无(或少)废工艺系统,分层多级利用废物生态工程,复合生态系统内的废物循环、再生系统,污水自净与利用生态工程等。由此可见,生态工程对中国国民经济持续发展具有重大意义。

【国际地圈-生物圈规划】 (International Geosphere-Biosphere Program 缩写 IGBP。国际科学联合会于 1983 年开始筹备组织的以全球变化为中心的国际合作研究,于 1986 年的国际科学联合会第 21 届大会上通过,并在 1988 年斯德哥尔摩召开的 IGBP 科学咨询委员会上通过了 IGBP 大纲。它主要研究地球系统的各分量——生物、陆地、海洋和大气之间的关系,焦点在于地圈和生物圈的相互作用。IGBP 分 3 个层次的计划和执行机构:(1) 由 IGBP 协调的全球变化核心项目;(2) 由其他组织协调的全球变化项目;(3) 与 IGBP 目标相关,但不需要由 IGBP 设计的其他支撑项目。IGBP 研究几十年到百来年中,可能发生的区域性到全球性自然过程,可分 4 个基本内容:(1) 观测和预测全球变化;(2) 观测和定向理解各主导因子的功能;(3) 对瞬变现象的理解;(4) 估价全球变化对资源的影响。目前已有 40 多个国家相继成立了各自的全球变化国家委员会,近 20 多个国际学术团体成立全球变化研究小组,积极开展预测研究。中国科学家对全球变化研究高度重视,参与了 IGBP 早期的酝酿活动,并于 1988 年 5 月成立了中国的国家地圈-生物圈计划委员会。1989 年召开第二次会议,探讨了中国对全球环境变化研究贡献的可能途径。1989、1990、1991 连

续 3 年召开了有关全球变化的研究学术会议，检阅了中国近几年来对全球变化的预测研究成果。

人 种

【人体测量】对人的活体（包括尸体）和骨骼，以至生理机能等方面进行的度量和观测。应用于人类学、医学、遗传学、法医学以及体育、国防、工业等方面。例如国外进口的载重汽车的座位到油门的距离偏大，部分中国人，尤其妇女感到不方便。军用的飞机坦克如能根据中国人的平均身高、体重和臂长、腿长设计也可提高机械的适用性和灵敏度，还可节约空间和原料消耗。甚至小学生的课桌椅均应依照特定年龄儿童人体测量的成果来设计。

【颅指数】人体测量中重要数据之一，又称颅长宽指数。反映人颅骨的顶视特征。以颅宽（两侧顶骨间最大距离）与颅长（两眉间至颅后的最长距离）之比乘 100 的颅指数表示。64.9 及以下，为超长颅型，65—69.9 为特长颅型，70—74.9 为长颅型，75—79.9 为中颅型，80—84.9 为圆颅型或短颅型，85—89.9 为特圆颅型，90 以上为超圆颅型。根据颅骨顶面形态还可作出观察的形状判断，一般分为椭圆形、五角形、球形、菱形、卵圆形和楔形。对于畸形的头还有舟状头、光头、三角头、扁头和斜头、楔状头等。

【颅骨】又称头骨。人类头骨，由 23 块骨片组成（不包括内耳的 6 块小骨）。头骨的后上部称脑颅，包括额骨、顶骨、枕骨、颞骨

等 8 块，组成一卵圆形的颅腔，容纳并保护脑，在内骨壁上具有反映脑部沟回及脑膜血管分布的痕迹，可间接研究脑的形状、特征及进化等。颅底枕骨当中有一枕骨大孔，脊髓由此通出，其两侧为枕髁，颅骨借此与颈椎相连，而使头部能自由转动。颅骨之前下部称面颅，由鼻骨、泪骨、颧骨及上颌骨、下颌骨等 15 块组成。自眼眶孔上方经颅顶至后脑枕骨部分称头盖骨，常能保存为化石。下颌骨亦常形成化石。头骨骨片数目在各类脊椎动物中有很大的差别，愈原始类型骨片数目愈多，愈进化则骨片数目愈少，如硬骨鱼类头部骨片可达百余块。

【脑容量】又称颅容量。颅腔的容量，以毫升或立方厘米为计量单位。测定方法是用细小的颗粒如细纱、芥菜子等作填充物，装满整个颅腔，然后把填充物取出，用量杯测得其数值。测定时所用的填充物颗粒愈小。测得的数值愈为准确。人类进化过程中脑容量逐渐增大，如直立人平均约 950 毫升，尼安德特人平均为 1400 毫升，现代人平均约 1600 毫升。

【头盖骨】头骨的顶及上部部分骨片的统称。相当于解剖学上脑颅的主体部分。呈穹窿状，主要包括额骨、顶骨的大部和枕骨的小部分，有时亦可附有头部两侧的颞骨、蝶骨等小部分。由于这一部分骨片以曲折的骨缝互相嵌入，且骨壁较厚，故易保存为化石。目前世界上已发现的人类头骨化石中头盖骨较常见。

【眉嵴】又称“眉骨”，眼眶上方呈弓状的突出骨质嵴（额骨的一

部分)。原始人类眉嵴最发达，常向前突出，且两侧眉嵴可于鼻骨上端相连，越进化则眉嵴越低。处于同一进化阶段的人类的眉嵴，男性者较女性者突出。古人类学中，眉嵴为重要的鉴定特征之一，亦可作为判别性别的重要标志之一。

【面骨】颅骨的前下部分，由 15 块骨组成。包括成对的上颌骨、颧骨、鼻骨、泪骨、(硬)腭骨及下鼻甲和不成对的犁骨、舌骨、下颌骨。上颌骨为面颅的主要组成部分之一，其上着生牙齿，为面颅骨片中较坚厚的一部分，常可保存为化石。通常把下颌骨排除在外，在有些报道中，面骨仅包括上颌骨及颧骨、鼻骨的部分骨片。

【下颌骨】组成面颅的最大骨骼，侧视呈 L 形，生有牙齿的水平部分称水平枝或下颌体，后面垂直部分叫下颌枝或上升枝。左右两下颌体结合部有一直嵴称下颌联合。下颌枝顶部具二突起，前方的称肌突，为下颌肌附着处，伸入颧骨弓与上颌骨之间；后方的称髁状突，为下颌与脑颅相连的关节。下颌骨坚厚，尤其下颌体易保存为化石，下颌枝不易完整保存。

【肤色】人类皮肤的颜色。皮肤的颜色与毛细管中的血液和表皮中黑色素的含量和分布状态有关。人类皮肤分为表皮和真皮两层。表皮又分为四层，最下面的一层叫生发层。当生发层细胞中及细胞间聚积黑色素颗粒时，皮肤呈褐色；若色素量少或呈液体状时，皮肤色变浅；若黑色素增多且功能增强时，肤色变深变暗。若真皮

层中有色素聚积时，则皮肤上出现青斑或蓝斑，如蒙古人种婴儿臀部的蒙古斑。肤色还受微血管中血液颜色的影响，尤其是浅色皮肤者，可使皮肤出现粉红色调。身体不同部位肤色不一，背部较胸部深，四肢外侧较内侧深，会阴及乳头附近最深。手掌及脚掌皮肤颜色最浅，肤色极深的人种更加明显。浅色皮肤的人种，在阳光照射下多数人皮肤会变黑，原因在于阳光照射加强了黑色素的形成。观察时应选取背部或被衣服遮盖的上肢内侧，在阳光不直射的明亮处进行。除通常经验判断描述外，还可采用带颜色的肤皮表对比鉴定。该表将肤色分为：十分浅、浅、中等、深、十分深五级³⁶色。

【发形】人类头发外形、粗细及生长方式的组合特征。一般分为直发、波状发和卷发三类，或分为直发、波状发、卷发、羊毛状卷发和小螺旋形卷发。直发横切面圆形或近圆形，皮下毛囊直；波状发和卷发横切面椭圆形，毛囊是微弯的；羊毛状卷发和小螺旋状发横切面椭圆形或胃形，毛囊马刀形或强烈弯曲。一般蒙古人种、印第安人种黑发粗直而长；高加索人种发细，波状或卷发，颜色从金黄、亚麻到褐色、黑色，有时有红色者，长度中等；尼格罗人种发黑褐色，多羊毛卷状或螺旋卷状，发短而卷缩，不能生得很长。发形以及发色是区别不同人种的特征之一。有带实物的发色表可供对比鉴别。

1. 直发；2. 波状发；
3. 卷发；4、5. 小螺旋形卷发

【内眦褶】眼内角处，遮盖泪阜并掩盖下眼睑端部的上眼睑皱褶的向下延伸部分。因常见于蒙古人种，故又名蒙古褶。通常所说单眼皮，即为具内眦褶者。内眦褶的发育程度与人种、地理和年龄、性别都有关系。具内眦褶者为低鼻梁，但低鼻梁者并非一定具内眦褶。女性多于男性，年龄小者多于年龄大者。在东亚、北亚的蒙古人种中，内眦褶出现率高，如山东为 90%；朝鲜人 20—25 岁年龄组为 92%，26—29 岁为 77%，40—50 岁为 36%；哈萨克人约 25%，生活在伏尔加流域的鞑靼人为 5—7%；中国南方的黎族为 48.5%。其他人种内眦褶出现率几近于 0，唯布须曼人种中有内眦褶出现。

蒙古褶示意图

左上下：无蒙古褶 右上下：有蒙古褶

【眼色】眼球内虹膜的颜色。是人体测量及判断人种的标志之一。虹膜内色素的多少和分布状况决定虹膜的颜色。色素很少时眼为蓝色，主要是反映外界的蓝色；色素增多时色调变为深棕，直至黑褐色。观察眼色为人体测量的项目之一，对于确定人种尤为重要。一般可根据带色块的眼色表区分为 16 或 12 种。

【肤纹】人类手掌和脚底皮肤表面呈波浪状的凹凸皱纹。其成因系真皮乳头规律性突向表皮的生发层而表现出来的。肤纹有着明显的特征，即肤纹稳定性，在胚胎期第六个月完全形成，此后纹身不变。肤纹具特异性，每个人的肤纹均不相同，尤其指纹。肤纹具遗传性，主要是一些基本结构特征具较强遗传性。肤纹包括手纹（指纹、指节纹、掌纹）和脚纹（趾纹和蹠纹）。指纹及掌纹由于采集方便而应用较广、研究较多。

【指纹】手指末节掌面上的、由嵴纹和沟纹交互组成的复杂花纹。嵴纹亦称纹线，呈突起的弓形、箕形、环形、螺旋形、弧形和棒状线，并间或组成眼状、桥状、钩状、分岔状的线，有时还有短棒及点。嵴线上具小坑，是汗腺的开口。嵴线之间为凹下的沟纹。手指末节掌面具三种基本指纹类型；弓型、箕型和斗型。箕型一般可分为尺侧箕和桡侧箕；弓型分为平弓和帐弓；斗型有真斗、双箕斗和复合斗。指纹在刑侦、法医学等方面的作用早为人所共知。指纹在不同人种中的分布情况亦有较多差别。弓型指纹在高加索人种的出现率为1—10%，尼格罗地域人种为3—12%，布须曼地域人种和俾格米地域人种为10—16%，其他人种（除阿伊努地域人种）为0—5%。箕型指纹在高加索人种、尼格罗人种和阿伊努地域人种中为52—76%，其他人种为28—64%。斗型指纹在高加索人种、尼格罗人种和阿伊努人中出现率为16—42%。西方的人种弓型及箕型出现率高于东方。而东方的人种（除阿伊努人外）斗型出现率高于西方。

弓

箕

斗

【体型】人体外观形态上的总体特征。主要依据脂肪聚积和肌肉发达程度决定，由于这二者具有一定遗传因素影响，因此体型在总体上仍可视为确定人种的因素之一。不过因为体型受社会的和环

境的影响很大，同一人种不同社会集团、不同年龄、性别等均可出现不同的体型。目前多以三种极端类型区分体型，但对每一个人来说可以按三种体型所占比例多少在体型位图上求出其所处坐标点。内胚层型是由内胚层发育而成的组织占优势的类型，全身各部积蓄脂肪多、较软而圆、消化器官肥大、身材较矮小、四肢较短、颈短、胸廓短而呈桶形、腹部长而外凸、背脊稍驼或正常、相对来说躯干和大腿较大而小腿及和上肢较细；也常称为腹型或圆胖形。中胚层型者，其肌肉、骨骼、结缔组织均发育、体格健壮、肩宽较大、腹部平、胸廓圆锥形、背脊直或呈波浪状；又称肌型。外胚层型者，脂肪积聚少、肌肉及皮下组织不发育、四肢及颈均较细长、胸廓扁平细长、腹部短而内凹、肌肉松弛、背脊正常或稍驼；又称胸型或瘦长型。也可用数字法表示，三位数字，第一位代表内胚层型、第二位代表中胚层型、第三位代表外胚层型，每一位数字均由 1—7 代表其级别。三种极端体型者为 711、171、117。而以 444 为最常见者。女性体型可细分为 6 种：虚弱型（病态）；狭胸型（胸部狭长）；丰满型（适中）；肌肉型（肌肉发达）；健壮型（身材高大、肩宽、肌肉发达）和肥胖型（脂肪积蓄量特大）。

【人种】又称种族。具有不同于其他居群集团的独特遗传体质特征的居群集团。人类遗传体质特征包括外表特征，如肤色、眼色、发色、发型、头型、面型、指纹等普遍存在的特征，也包括内眦褶（蒙古褶，多见于蒙古人种）、乳晕后沟（波利尼西亚人种妇女）、铲状门齿（蒙古人种及美洲印第安人种）、肥臀（开普人种及尼格利陀人种）等特征。人类遗传特征还包括血型、某些特殊疾病及其他一系列呈现生化方面的特征。这些遗传特征具有相当的稳定

性，在较长时期内不会发生重大改变。在现在条件下，受外界环境影响而发生变异的范围很小。而且这些特征多不受性别、年龄等的影响（少数与性别有关的特征除外）。现有各人种体质形态上的差异，在距今 3—4 万年前的晚期智人化石上已有反映，如北京猿人门齿化石已具铲形门齿特征。根据肤色及外表特征，最先分为三个人种：即白色人种（印欧人种、高加索人种）、黑色人种（尼格罗人种）和黄色人种（蒙古人种）。后来增加了棕色人种（澳大利亚人种）和红色人种（印第安人种）。近来根据外表特征及生物化学和人类遗传学特征，将全世界划分为 9 大地理人种。再根据其分布及进一步的形态和遗传特征，划分为若干地域人种。理论上还应有一个微人种，作为比地域人种更小的单位。当前世界主要有下列地理人种和地域人种：

乳晕后沟及铲状门齿

澳大利亚地理人种

巴布亚地域人种

尼格利陀地域人种

波利尼西亚地理人种

新夏威夷地域人种

美拉尼西亚地理人种

密克罗尼西亚地理人种

高加索地理人种

西北欧地域人种

东北欧地域人种

阿尔卑斯地域人种

地中海地域人种

伊朗地域人种

拉普地域人种

阿伊努地域人种

美洲印第安地理人种

北美印第安地理人种

中美洲印第安地理人种

南美印第安地理人种

火地岛地域人种

拉迪诺地域人种

蒙古地理人种

蒙古地域人种

华北地域人种

东南亚地域人种

西藏地域人种

爱斯基摩地域人种

突厥（中亚）地域人种

尼格罗地理人种

森林尼格罗地域人种

班图地域人种

俾格米地域人种

开普地域人种

东非地域人种

北美有色地域人种

南非有色地域人种

地度地理人种

印度（雅利安）地域人种

达罗毗荼地域人种

注：各地理及地域人种的较详细叙述见第一卷。

人种起源问题，学术界早期有一祖论和多祖论之分。前者认为人类现有各人种均来自同一古猿祖先；后者认为尼格罗人种与大猩猩有共同祖先，高加索人种与黑猩猩有共同祖先，而蒙古人种与猩猩有共同祖先。现在根据各人种均属人属智人种的同一个种，且各主干人种间有过渡类型，一祖论已被确立。后来又发生单中心说与多中心说的不同。前者认为现有人种均起源于某一地区的更新世晚期的智人，扩散到各地，适应于不同环境而形成；后者认为现代各人种是更新世晚期或更早的化石人类在当地发展而成的。现已发现距今 3—4 万年前的一些晚期智人化石上，已具有许多现代人种所特有的特征。如克罗马农人与高加索人种，山顶洞人、尼阿人、瓦加克人与蒙古人种，弗洛里斯巴人、边界洞人、奥莫人与尼格罗人种，芒戈湖人、科阿沼泽人与澳大利亚人种等。

【人种的血型系统差异】九大地理人种除外表形态上的差异外，许

多遗传特征有着更重要的作用。它既可以区别外表有较多共同特征的不同人种，如蒙古人种与美洲印第安人种；它还可以进一步探寻各人种的相互关系及其起源问题。自 1900 年首先发现 ABO 血型系统以后，已发现各自独立的血型系统 10 余个（见表）。一些血型基因在染色体上的位置已经确定，如 ABO 座位在第九号染色体上，Xg 在 X 染色体上，Kidd 在第七号染色体上，P 在第六号染色体上，Duffy、Rh、Dombrock 在第 1 号染色体上。

ABO 血型系统是人类最重要的血型系统。O 型血广泛分布于世界各地，尤其在中、南美洲印第安人及北美的大部分地区频率达 100%，世界其他各地也达 50% 左右。B 型在亚洲分布广泛，印度北方最高达 40%，美洲印第安及澳大利亚人种中没有 B 型血，在非洲和欧洲频率较低（15%）。A₁ 型世界性分布，北美印第安人的某些部族频率极高。A₂ 型不常见，在拉普人中高达 50%，澳大利亚人种、爱斯基摩人种、某些蒙古人种（印度尼西亚）、太平洋人种及北美、加拿大的部分高加索人种中无 A₂ 型。Rh—血型系统的重要性仅次于 ABO 血型系统，1940 年发现。在血红细胞膜上存在的一种抗原，由于最初的实验以恒河猴的血红细胞进行，因此恒河猴的英文名称 Rhesus monkey 的前两个字母命名。Rh 抗原不合可引起溶血症。高加索人种中 Rh 阳性者达 85%。其血型基因为 C、c，D、d，E、e 三对等位基因，其座位在第一号染色体上。新生儿溶血症以双亲 Rh 不合所引起的较多、较严重。Rh—阴性在高加索人种中为 15% 左右，其中巴斯克人可达 25—35%，非洲的柏柏尔人及西奈半岛的贝都印人可达 18—30%。MNS_s 血型系统，人类血型系统之一，1927 年发现 MN 抗原。1949 年在这一系统中

发现 S 抗原, 更晚些又发现 U^S 抗原, 这一系统因之名为 MNS_s 血型系统。通常 M 及 N 的频率经常是相等的, 很少有较大的差别。在英国为 0.53 和 0.47, 在日本为 0.56 和 0.44。但在美洲印第安人中 N 常极小或 0。太平洋区的巴布亚、斐济、夏威夷等血型 N 都超过 M。而太平洋人与北美印第安人中血型 B 和 A_2 频率低。Duffy 血型系统是与 ABO、 MNS_s 和 Rh 血型系统无关的独立血型系统。1950 年从一位 Duffy 先生的血液中发现, 因以得名。有 Fy^a 、 Fy^b 二种抗原。Duffy-阴性在东亚 (日本、朝鲜和中国) 占 90—99%, 印度 90%, 美洲印第安人 85—90%, 高加索人种 65% 左右, 美洲的尼格罗人种为 27%。Duffy-阴性在澳大利亚人中为 100%。澳大利亚—太平洋为其起源中心。在非洲人中 Fy^a 极低, 但 Fr 基因极普遍 (78%)。Diego 血型系统发现于 1955 年。有 Di^a 和 Di^b 抗原, 在南美印第安人中 Diego-阳性者最高可占 45% 左右, 北美印第安人最高大约为 2—20%, 东南亚蒙古人种约 5—10%。其余人种如高加索、尼格罗、澳大利亚及太平洋和爱斯基摩人均极少。Kidd 血型系统有 Jk^a 和 Jk^b 抗原。Kidd-阳性在西非和北美尼格罗人种中极普遍, $>90\%$, 北美印第安人约 70—90%, 高加索人种最高达 70%, 在蒙古人种中较少 (50—55%)。

主要人类血型系统

血型系统	发现年代	主要抗原
ABO	1900	A ₁ , A ₂ , B, H
MNS _s	1927	M, N, S, s
P	1927	P ₁ , P ₂
Rh	1940	D, C, c, E, e
Lutheran	1945	Lu ^a , Lu ^b
Kell	1946	K, k
Lewis	1946	Le ^a , Le ^b
Duffy	1950	Fy ^a , Fy ^b
Kidd	1951	Jk ^a , Jk ^b
Diego	1955	Di ^a , Di ^b
Yt	1956	Yt ^a , Yt ^b
I	1956	I, i
Xg	1962	Xg ^a
Dombrock	1965	Do ^a

【6—磷酸葡萄糖脱氢酶缺乏症】代谢缺陷性遗传性疾病。为区别不同人种的遗传性疾病之一。患者血红细胞易于破裂而发生溶血（尤其在摄入某些药物时）。其病因为血红细胞内 6—磷酸葡萄糖脱氢酶活性降低，使血红细胞内防止细胞膜破坏的物质减少。通常患者体内血红细胞表现为脆度增加，当患者摄入能产生某些氧化剂，而使血红细胞发生溶血的药物时，则发生溶血现象。仅见于男子，为伴性遗传。有多种类型，常见于尼格罗地理人种及地中海地域人种。这种代谢异常有抗疟作用。

【 β -氨基异丁酸排泄】简称 BAIB 排泄。是单纯遗传基因控制的代谢过程，见于人类及其他高等灵长类。其意义不详。几乎所有人的尿中都含有 β -氨基异丁酸 (BAIB)，它是一种代谢的末端产物。妇女在怀孕期内 BAIB 含量的增高是非遗传控制的。其他情况下的高排出量可能是一种单纯常染色体隐性等位基因控制的，其分布和出现与人类的种族有关。高加索人种、澳大利亚人种、印度人种出现率低于 12%；蒙古人种和美洲印第安人种出现率为 45—50%，约为中等；美拉尼西亚人种出现率极高，约 85%。

【苯硫脲味觉检验】又称 PTC 味觉检验或简称 PTC 检验。对不同人进行的对苯硫脲及相关物质的味觉分辨能力的一种检验。是受隐性遗传基因 (t) 控制的味觉分辨率。通常女性对于苯硫脲比男性敏感。更重要的是不同人种之间所存在的差异，即苯硫脲味盲出现率的高低常随种族而不同。

人口问题

【人口爆炸】一定时间内人口的急剧增长，使人口数量超过了生存环境的负荷能力。人口增长由出生率、死亡率和迁移所决定，三者受空间、食物、社会经济、文化等多种因素的影响。据资料分析，公元元年，世界人口约 1.5 亿，到 1550 年增加到 4.5 亿。随着资本主义生产方式的诞生，世界人口有了较大的增长，到 1650 年达 5 亿。欧洲工业革命后，人口增长更加迅速，到 1850 年达 10

亿，即 200 年世界人口增加一倍。到 1930 年，世界人口增到 20 亿（即人口增长一倍历时 80 年）。到 1962 年，世界人口已达 30 亿，（即第三个 10 亿用了 32 年）。1975 年世界人口进入 40 亿，这次增长 10 亿只用 13 年。1982 年已达 46 亿。按此人口增长率计算，人口翻一番的时间约需 35 年。到 2010 年世界人口将达 80 亿，到 2635 年，世界陆地面积每平方英尺将有 1 人。人口的迅速膨胀，使人类需要的食物储备减少，人类身体素质下降，疾病增多，死亡上升，人类所需的能源发生了危机，生产力水平降低，社会发展受到抑制。由于人口爆炸，迫于生存，难免进一步毁林开荒，围湖造田，乱采滥挖，使自然资源被过度开发而逐渐趋于枯竭。因此当人口增长超过了自然资源、食物和生存空间的容纳量时，就会出现强制性和灾难性的死亡，使人类苦心经营建造的文化和文明遭到毁灭。

【世界人口增长】从人类的历史来看，世界人口有过 3 次较大的增长：（1）人类祖先从灵长类进化到人；（2）由渔猎社会过渡到农业社会；（3）文艺复兴以后直到现在，以更大的速率在增长。当 1492 年哥伦布发现新大陆时，世界人口只有 2.5 亿，1800 年达到 8.5 亿，而 1900 年为 16 亿，1982 年达 46 亿。这种人口增长速度是非常迅速的，呈几何级数的形式，这从每增加十亿人口所需时间便可说明。从 10—20 亿，约 80 年（1850—1930）；从 20—30 亿，约 32 年（1930—1962）；从 30—40 亿，约 13 年（1962—1975）；从 40—50 亿，约 13 年（1975—1988）。若以人口倍增时间来看，从 5—10 亿，约 200 年；从 10—20 亿，约 80 年；从 20—40 亿，约 45 年；从 40—80 亿，约 35 年。世界人口每年平均以 8000 万以上的数量增加。但各地人口增长情况是不同的，发达国家人口

增长缓慢，亚洲和澳洲增长较快，非洲和南美洲人口增长最快。例如 1981 到 1988 年平均增长速率：美国 1.0%，日本 0.6%，法国 0.4%，德国—0.6%，英国 0.2%，苏联 0.8%，中国 1.4%，印度 2.1%，伊朗 3.7%，澳大利亚 1.5%，阿尔及利亚 3.1%，尼日利亚 3.4%，利比亚 4.2% 等。增长快的主要原因是出生率高，而降低了死亡率所致。

【中国人口现状】中国从公元 1 年到 1600 年间，人口波动在 4—6 千万之间，以后迅速增加，到 1949 年时达 5.42 亿，到 1978 年达 9.75 亿，到 1990 年达 11.4 亿，呈指数增长形式。中国人口现状特点：（1）绝对数量大，到 1990 年底，大陆人口占世界总人口的 22%。（2）增长速率快，从 1950 年到 1982 年，人口增长 84%，平均自然增长率 0.022，1990 年自然增长率为 0.01439。1986 年后，每年净增人口 1500 多万，相当于澳大利亚的总人口。（3）年龄结构已由年轻型过渡到成年型初期，1982 年时，15 岁以下人口占总人口 33.4%，15—65 岁人口占 61.7%；到 1990 年，15 岁以下占 27.7%，15—65 岁人口占 66.7%。65 岁以上老人绝对数量从 1982 年的 4927 万增加到 1990 年的 6319 万，到 2000 年时，将为 8648 万。（4）人口分布极不均匀，94% 以上人口分布在东南部约 43% 的国土上。（5）人口城市化发展快，但农业人口比重仍大。中国市镇人口与乡村人口之比例，已由 1980 年的 19.4：80.6 到 1990 年 26.4：73.6，城市人口的绝对数量由 1980 年的 1.9 亿增长到 1990 年的 3.02 亿。全国建制城市到 1990 年底共 467 个，市区非农业人口 100 万以上的有 31 个城市。（6）身体素质提高，1989 年全国人口死亡率由 70 年代的 7.3‰ 下降到 6.5‰，特别是婴儿死亡率近几年持续下降，与发达国家水平靠近。平均寿命从 1982 年

的 67.84 岁提高到 1989 年的 69.03 岁。已陆续消灭或基本消灭古典生物型传染病。人们营养状况改善,儿童青少年生长发育水平增高,新生儿体重大于 2500 克,已超过世界卫生组织提出的“2000 年人人享有卫生保健”指标的要求。男女青少年体重、身高、胸围在 1985 年均比 1975 年增长,如 7—18 岁城市与农村男性身高分别增加 3.13 和 4.58 厘米。(7)文化素质提高,据 1990 年统计,受过教育人口中,大专以上人数占 2.01%,高中文化占 11.36%,初中文化占 33.32%,小学文化占 53.31%。15 岁以上人口中的文盲和半文盲数,由 1980 年的 31.9%下降到 22.3%。从总体上看,中国人口文化素质还是较低,这是一个亟待解决的涉及中国现代化前途的重大问题。

【人口预测】按照人口状态发展的动力学规律,以当前人口的统计资料和对人口主要参数(今后若干年内可能变化趋势的估计)为依据,去估标一段时间内人口的数量和状态。联合国根据 1950—1978 年世界人口统计资料,对世界人口作了预测。由于人口年龄结构的原因,即使采用平均每个妇女在生育期内只生一个女孩,使净生殖率等于 1 的置换水平,全世界人口还是会增加。如果在 2000—2006 年实现置换水平,则到 2100 年世界人口达到 85 亿,这时才出现人口零增长。如果 2040—2045 年实现置换水平,则世界人口将增至 135 亿。中国根据 1982 年人口普查与 1987 年抽样调查结果,预测了中国人口变化趋势。如从 1989 年实现一对夫妇只生一个孩子,则到 2000 年中国人口仍可控制在 12 亿。如果每个妇女生一子一女,2000 年中国人口将远远超过 13 亿,接近 14 亿,这是目前经济建设所不能承受的。根据世界卫生组织专家预测,本世纪内医疗上的突破性进展,人类平均期望寿命将大大延

长。假如平均期望寿命为 90 岁或 80 岁，总生育率保持 2000 年水平的条件下，到 2050 年，中国人口将达到 17 亿或 15 亿。因此，计划生育在中国不是权宜之计，而是需要在长期内实施的国策。

【人口控制】人口增加受到食物、居住空间和自然资源的限制，如果人口增长超过自然资源和生存空间的容纳量，将会产生强制性和灾难性的死亡。因此必须控制人口增长，将人口控制在最适人口（指一个国家或社会在它所拥有的土地上，能养育多少人口才比较适中）上。这个最适人口与国家大小、气候条件、自然资源的情况密切相关，又由生产方式、生活方式及科学技术的进步程度所决定。中国一些学者根据农业生产、经济发展和资源情况，提出中国最适人口为 6.5—7 亿。世界上有 10 多个国家，主要在欧洲（如法国），由于人口出生率低，面临“人口萎缩”的威胁，目前实行鼓励生育。而大多数国家采取控制生育的办法来控制人口，多数国家已制定了适合本国情况的人口政策。当前中国已有 11.4 亿人口，超过了中国生态系统的承载能力。因此，实行计划生育、控制人口数量，提高人口素质，是中国的一项基本国策。在 1979 年第二次全国人口科学讨论会上，提出每对夫妻只生一个孩子的主张。1988 年，中共中央、国务院重申了中国现行的计划生育政策：提倡晚婚，少生优生，提倡一对夫妇只生育一个孩子。现在全国大多数省已步入依法管理计划生育的轨道，各级领导加强了此项工作的领导，广泛开展了计划生育的宣传活动，并实行综合治理措施。中国的计划生育科学研究也取得迅速的发展。